A. DUPONT

A. CASTELL

technologie

PROFESSIONNELLE GÉNÉRALE

professions de la mécanique

Classe de 4e des Collèges Techniques

1ere année des Centres d'Apprentissage

DESFORGES
PARIS

TECHNOLOGIE
PROFESSIONNELLE GÉNÉRALE

PROFESSIONS DE LA MÉCANIQUE

CLASSE DE 4E DES COLLÈGES TECHNIQUES
ET 1RE ANNÉE DES CENTRES D'APPRENTISSAGE

A. DUPONT
PROFESSEUR TECHNIQUE ADJOINT
AU COLLÈGE TECHNIQUE DE VERSAILLES

A. CASTELL
INGÉNIEUR A. ET M.
DIRECTEUR DES ÉTUDES AU COLLÈGE TECHNIQUE DE VERSAILLES

DESFORGES
ÉDITEUR
29, quai des Grands-Augustins - Paris 6e
1960

TABLE DES MATIÈRES

Introduction

Pages

Principaux métiers enseignés au collège :

Situation et importance de chacun d'eux dans le pays. Organisation de l'enseignement technique au collège, sanction des études 9

Prévention des accidents :

Différentes causes d'accidents, moyens de les éviter. Ce qu'il faut faire en cas d'accident 14

Métrologie

Définition, but, unités de mesure 21

Assemblage des pièces. Réalisation d'un assemblage. Système international à limites. Cotation normalisée 21 24

Mesure des dimensions des pièces. Le pied à coulisse, différents verniers. Utilisation du pied à coulisse 26

Mesure des pièces par comparaison. Le comparateur à cadran, les cales étalons, les calibres à limites. Utilisation de ces instruments 30

Définition et propriétés du plan. Contrôle du plan au marbre et à la règle. Contrôle du parallélisme de deux plans 35

Contrôle et mesure des angles. Rapporteur et calibre d'angle. Utilisation de ces instruments 41

Étude élémentaire des principales matières premières

Propriétés des métaux liées à la fonction et à la fabrication des pièces 49

Notions sur les caractéristiques des métaux. Essai de traction, résultats de l'essai. 54

Essai de dureté à la bille de Brinell 58

Notion de résilience. Le phénomène de l'écrouissage 61

Caractéristiques des fontes et aciers 62

Caractéristiques du cuivre et de ses alliages 63

Caractéristiques de l'aluminium et du duralumin 67

Caractéristiques du zinc, du plomb, de l'étain 68

Les traitements thermiques :

La trempe, le revenu, le recuit 71

Pages

L'usinage des métaux

Définition, but et principe du travail à l'outil de coupe 77
Génération des surfaces élémentaires. Constitution d'une machine-outil 78
Forme et angles caractéristiques d'un outil de coupe. Le copeau 81
Valeur des angles caractéristiques d'affûtage, leur vérification 84
Construction des outils. Différents types d'outils 88
Position de l'outil par rapport à la pièce 89
Outils d'extérieur et outils d'intérieur 93
Outils à plusieurs arêtes tranchantes. La fraise, le foret 97
Le grattage. Outils de grattage. Le copeau gratté 100
L'outil-meule. Le copeau meulé. Montage d'une meule 103

Vitesse de coupe :

Vitesse moyenne d'un mobile, mouvement circulaire uniforme 107
Définition de la vitesse de coupe. Relation pour le tour, la perceuse, la fraiseuse, l'étau-limeur 110
Débit d'un outil. Vitesse de moindre usure. Facteurs faisant varier la vitesse de moindre usure 113
Graphiques des vitesses de coupe 117

Formes brutes
Travail du bois

Moulage :

Moulage en sable. Moulage au naturel. Matériel de moulage. Réalisation d'un moule simple au naturel 123
Moulage avec noyau. Modèle et boîte à noyau. Réalisation d'un moule simple avec noyau 128
Coulée du métal, décochage, ébarbage 130

Forgeage :

Chauffage au feu de forge. Effets techniques obtenus par forgeage à main 132

Travail des métaux en feuilles :

Effets techniques obtenus par travail à la main 137

Notions sur le travail du bois :

Structure et propriétés des bois. Classement des bois. Maladies et protection des bois 141
Expériences sur le travail du bois à l'outil de coupe. Outils à bois types 145
Machines à bois. Principe du travail et schémas fonctionnels de la scie à ruban, de la dégauchisseuse, de la raboteuse et de la mortaiseuse à mèche 150

AVANT-PROPOS

Encouragé par le succès de notre premier livre « Leçons de Technologie », paru en 1949, et sollicité par de nombreux Collègues, nous avons décidé de publier de nouveaux ouvrages conformes aux derniers programmes officiels.

Comme précédemment, nous avons essayé de donner au maître les moyens de consacrer le maximum de temps à son exposé et aux interrogations, de façon à ce qu'il vive effectivement avec sa classe.

De même, nous avons fait suivre chaque leçon d'un résumé qui en dégage les idées maîtresses, libérant ainsi le maître de l'obligation de le dicter. Nous conseillons d'astreindre l'élève à le copier et à l'illustrer par les schémas essentiels.

Enfin, au cours de la rédaction de l'ouvrage, nous n'avons pas perdu de vue que nos élèves doivent avant tout :

— acquérir des bases solides sur lesquelles ils pourront bâtir sans cesse à l'Ecole et à l'Usine ;

— étayer leurs aptitudes professionnelles par un jugement sûr ;

— suivre d'eux-mêmes l'évolution des techniques nouvelles par un esprit de curiosité raisonnée.

Nous ne voudrions pas terminer cet avant-propos sans remercier M. A. Castell, Ingénieur Arts et Métiers, Directeur des Etudes au Collège Technique de Versailles, pour la grande part qu'il a prise dans la mise au point de ce livre. Sa présence a été pour nous un inestimable réconfort. Nous avons cru devoir lui exprimer notre vive gratitude en réservant à son nom une place en tête de l'ouvrage.

A. DUPONT.

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION

Étude sommaire des principaux métiers enseignés au collège.

Prévention des accidents.

ÉTUDE SOMMAIRE DES PRINCIPAUX MÉTIERS ENSEIGNÉS AU COLLÈGE

Les principaux métiers enseignés au Collège se rattachent à deux branches principales :

— le travail des métaux,

— le travail du bois.

I. — TRAVAIL DES MÉTAUX

Le travail des métaux comprend principalement les professions de mécanicien, chaudronnier, forgeron, mouleur.

A. Mécanicien

Le mécanicien façonne le métal **à froid** en détachant des **copeaux** à l'aide d'outils tranchants.

Un mécanicien complet doit savoir exécuter un travail à l'étau en utilisant des outils à main (lime, burin, grattoir...). De plus, il doit connaître la conduite et l'emploi des machines-outils de base (perceuse, étau-limeur, tour, fraiseuse, rectifieuse).

Le mécanicien peut être **spécialiste-tourneur, spécialiste-ajusteur** ou **spécialiste-fraiseur.**

B. Chaudronnier

Le chaudronnier travaille **à froid** le métal en feuille en le déformant par coups de marteau donnés à la main.

Il doit être capable d'exécuter des soudures, des rivetages, des agrafages, des bordages.

Industriellement, cette déformation à froid peut être réalisée à la machine : c'est **l'emboutissage à la presse.**

Les métaux et alliages utilisés en chaudronnerie doivent être malléables. **Ex. :** l'acier doux, le cuivre, l'aluminium.

C. Forgeron

Le forgeron réalise des *ébauches* par martelage, soit à la main, soit mécaniquement à l'aide du marteau pilon, du métal préalablement **chauffé au rouge.**

Le chauffage a pour but d'augmenter la malléabilité du métal, donc de diminuer les efforts nécessaires à sa déformation.

Le martelage est parfois remplacé par une compression mécanique à la presse.

Les ébauches limitent l'usinage ultérieur.

D. Mouleur

Le mouleur exécute d'abord **un moule** (Fig. 1), le plus souvent en sable, dans lequel est laissée une *empreinte* obtenue à l'aide d'un *modèle*. Le modèle doit avoir la forme de la pièce à obtenir.

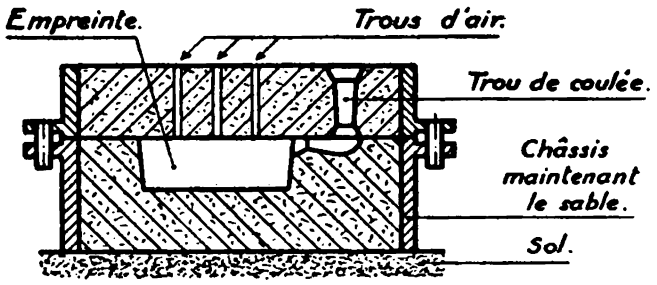


Fig 1 _ *Moule en sable. Le métal liquide remplit l'empreinte. Après solidification du métal, le moule est cassé pour sortir la pièce.*

Le mouleur coule ensuite du métal liquide dans le moule.

Le métal, chauffé à une certaine température, fond et acquiert assez de fluidité pour épouser la forme de l'empreinte.

Les métaux utilisés doivent donc être fusibles et fluides. **Ex. :** la fonte.

II. — TRAVAIL DU BOIS

Le travail du bois fait appel aux professions de menuisier, charpentier, ébéniste, modeleur. Dans toutes ces professions, le bois est façonné à l'aide d'outils tranchants.

A. Menuisier

Le menuisier, par travail à la main ou à la machine, exécute des portes, des fenêtres, des escaliers, des parquets... ainsi que des meubles et ouvrages simples en bois d'essences courantes (sapin, hêtre, peuplier, chêne).

B. Charpentier

Le charpentier débite et assemble les différents *bois* (poutres, chevrons, pannes...) destinés à soutenir la couverture d'un bâtiment.

C. Ebéniste

L'ébéniste est spécialisé dans la fabrication des meubles, particulièrement des *meubles de style*. Il travaille surtout des *bois durs*, des *bois fins* et des *bois exotiques*.

D. Modeleur

Le modeleur réalise le modèle qui sert au mouleur pour obtenir l'empreinte de son moule. Il emploie le plus souvent du tilleul ou de l'aulne; ces bois sont à *grain fin*, se travaillent très bien et sont homogènes.

E. A côté de ces *métiers de base*, on enseigne également d'autres professions dont la plus répandue est celle d'électro-mécanicien.

Cet ouvrier doit être capable de *tirer* des lignes de conducteurs, d'installer des tableaux de distribution et des appareils électriques (appareils de chauffage, d'éclairage, moteurs...). De plus il doit connaître la construction des machines électriques, pouvoir effectuer des mesures électriques et construire, par un travail à la main ou aux machines, des pièces d'appareillage (interrupteurs, contacteurs...).

III. — ÉVOLUTION DE CES MÉTIERS

Pendant très longtemps, les divers métiers de base sont restés sur le plan artisanal et familial. La production était faible ; tout le travail se faisait à la main et les machines rudimentaires utilisées étaient actionnées par l'homme. Les produits étaient donc rares, mais souvent d'une belle facture car chacun de ces petits fabricants pouvait manifester ses goûts personnels.

C'est à partir du XVIII[e] siècle, et surtout du XIX[e], avec l'invention de la machine à vapeur, du moteur à explosion, du marteau-pilon, du moteur électrique, que l'artisanat a fait place aux usines et manufactures organisées. Certaines occupent des espaces considérables et emploient plusieurs milliers d'ouvriers.

Mais la grande production date du début du XX[e] siècle. Depuis cette époque, le développement du machinisme, du travail en série, de la normalisation et de l'organisation scientifique du travail ont imposé la spécialisation des ouvriers.

Ainsi l'industrie moderne peut couvrir le marché de produits à des prix relativement peu élevés, apportant à tous le bien être et le mieux vivre.

IV. — RÉGIONS INDUSTRIELLES ET LEUR IMPORTANCE DANS LE PAYS

L'industrie française a toujours besoin de spécialistes et ceux-ci trouvent des débouchés certains dans le pays.

Les principales régions industrielles de la France et leur production sont :

Région du Nord. — Locomotives, machines-outils, moteurs électriques, pièces moulées pour toutes sortes de constructions, tissages et filatures.

Région lorraine. — Région de la grosse métallurgie : sidérurgie, fonderies, aciéries, laminage.

Région parisienne. — Très développée, malgré une étendue plus faible que les précédentes, on y trouve les industries les plus diverses : machines-outils, machines électriques, automobiles et industries connexes, aviation, meubles, bijouterie, horlogerie, instruments d'optique, articles de Paris.

Région de l'Est. — Locomotives, gros appareillages électriques, machines-outils, horlogerie, quincaillerie, tissages et filatures.

Région du Centre. — Elle comprend principalement le Creusot, où l'on fabrique des locomotives, de grosses machines-outils, des pièces d'artillerie.

L'industrie du pneumatique y est très développée.

Région lyonnaise. — Automobiles, armes, soieries.

Région de Marseille, de Nantes et du Havre. — Les principales industries de ces régions sont les constructions navales.

V. — ORGANISATION DE L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL AU COLLEGE

Dans l'enseignement professionnel donné au Collège, on distingue l'enseignement technique théorique et l'enseignement technique pratique.

A. Enseignement technique théorique

L'enseignement technique théorique comprend le dessin, la mécanique, la technologie et l'organisation du travail.

Le dessin est la reproduction sur plans des formes, avec leurs dimensions, des divers organes entrant dans une construction afin d'en permettre la réalisation.

La mécanique étudie les forces qui agissent, au repos ou en mouvement, sur les machines et leurs organes en vue de satisfaire à une bonne construction.

La technologie est la science qui conduit l'ouvrier à connaître sa machine et ses outils afin d'en tirer le meilleur rendement.

L'organisation du travail concourt à assurer une production rapide et économique.

B. Enseignement théorique pratique

Dans le but d'atteindre une formation complète et pour s'adapter facilement aux besoins de l'industrie, l'élève, au cours de sa scolarité, réalise les travaux types particuliers à toute une *famille professionnelle*.

Ex. : Si la famille choisie est la mécanique, il exécute des travaux d'ajustage, de fraisage, de tournage, de rectification.

L'élève peut ensuite choisir une spécialité : ajusteur-outilleur, fraiseur-outilleur...

C. Sanction des études

Les études, qui durent 4 ans, sont sanctionnées par le **Brevet d'enseignement industriel** (B.E.I.). Ce diplôme est supérieur au **Certificat d'aptitude professionnelle** (C.A.P.) parce que l'élève sortant breveté a une formation technique plus approfondie, des connaissances pratiques plus étendues et une instruction générale plus élevée.

Le B.E.I. lui ouvre donc plus facilement les portes de la maîtrise dans l'atelier industriel.

Résumé

Les *métiers de base* enseignés au Collège se rattachent au travail des métaux et au travail du bois.

Le travail des métaux comprend les professions de mécaniciens, de chaudronnier, de mouleur et de forgeron.

Le travail du bois comprend les professions de menuisier, de charpentier, d'ébéniste et de modeleur.

L'industrie française est très développée. Les principales régions industrielles de notre pays sont : le Nord, la Lorraine, la région parisienne, l'Est, le Centre et la région lyonnaise.

L'évolution de l'industrie a été très lente jusqu'au XIX^{e} siècle. A partir de cette époque, date des grandes inventions, elle a progressé rapidement. Depuis le début du XX^{e} siècle, s'est développée l'organisation du travail, condition essentielle d'une grande production.

L'enseignement donné au Collège comprend l'enseignement technique théorique (dessin, mécanique, technologie, organisation du travail) et l'enseignement technique pratique qui porte sur une même famille de métiers.

Le Brevet d'enseignement industriel est le diplôme qui sanctionne les quatre années d'études passées au Collège.

PRÉVENTION DES ACCIDENTS

Le métier est la source du salaire.

Pour exercer son métier sans fatigue excessive et avec profit, l'ouvrier doit être en parfaite condition physique. L'accident le prive momentanément ou définitivement de ses facultés de travail.

Certes, des allocations ou des pensions lui seront versées, mais ces dernières ne peuvent compenser le salaire. La gêne, la misère même, peuvent s'installer au foyer. En outre, l'accidenté est une charge pour la société et bien des joies seront refusées à lui-même et aux siens.

Il importe donc que l'ouvrier soit protégé contre les accidents du travail. Dans le **Code du travail** sont inscrites des lois qui imposent aux employeurs de prendre toutes dispositions de sécurité en vue d'empêcher, ou tout au moins de diminuer, les risques d'accident et d'éviter que l'ouvrier soit atteint par les maladies dites *professionnelles.*

Malgré ces précautions, les accidents du travail sont nombreux mais on note que 80 % sont dus au fait que l'ouvrier n'observe pas les consignes prescrites.

I. — DIFFÉRENTES CAUSES D'ACCIDENTS

Machines

Les organes en mouvement des machines, tels que poulies, roues dentées, chaînes, courroies, etc., peuvent occasionner des accidents graves, principalement des écrasements ou des arrachements des doigts, des mains, des bras.

Outils

Les outils tranchants, surtout les outils à bois, sont des causes de coupures et mutilations sérieuses.

Les outils de choc (marteaux, masses frappantes), peuvent provoquer des écrasements des doigts, des mains.

Les meules peuvent occasionner des brûlures graves par frottement sur les mains, et même des accidents mortels en cas d'éclatement par suite de leur très grande vitesse de rotation. Le meulage sans lunettes, par ailleurs, cause de fréquents accidents aux yeux.

Conducteurs électriques

Lorsqu'un ouvrier touche un conducteur électrique non isolé ou mal isolé, il peut, s'il est en contact avec un sol humide, être frappé d'une forte commotion pouvant amener la mort, même si le conducteur est parcouru par un courant de faible tension.

Désordre

Outre les pertes de temps causées par le désordre, il faut craindre les accidents.

Dans ses déplacements, l'ouvrier peut buter contre un bloc ou une barre non à leur place, glisser dans une flaque d'huile, ... Une chute peut s'ensuivre et causer la rupture d'un membre.

Eclairage défectueux

Un mauvais éclairage des ateliers laisse dans l'ombre certaines parties ou certains organes de machines dangereux. Pour l'ouvrier c'est une cause d'accident dont les conséquences peuvent parfois être très graves.

Inattention et indiscipline

Il y a toujours, dans une usine ou sur un chantier de travail quelconque, des endroits dangereux. Ces endroits, signalés, ne sont accessibles qu'à un personnel averti.

L'ouvrier qui refuserait de se soumettre aux consignes prescrites risquerait l'accident grave.

« Chahut » et amusement

La conscience professionnelle et la bonne tenue au travail doivent empêcher l'ouvrier de « *chahuter* » ou de se livrer à des amusements dans l'atelier. Nombreux sont les accidents dus à ces deux causes ainsi qu'à l'inattention et à l'indiscipline.

II. — MOYENS D'ÉVITER LES ACCIDENTS

Les organes dangereux des machines sont recouverts par des protecteurs (fig. 2 et 3). Ces derniers doivent toujours être en place lors du travail.

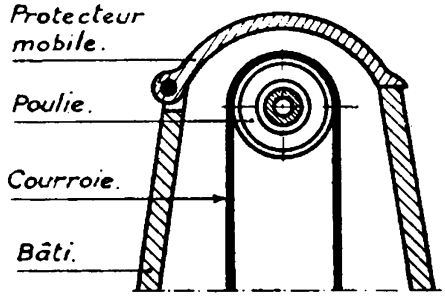


FIG 2 – *Protecteur mobile d'une poulie et d'une courroie de la broche d'un tour.*

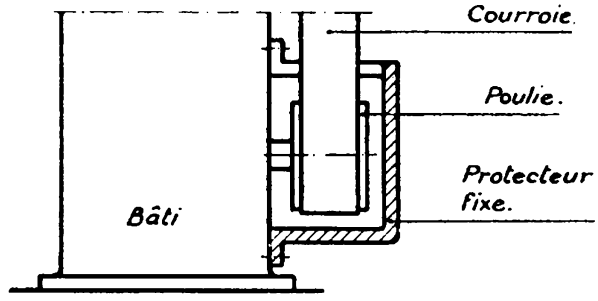


FIG 3 – *Protecteur fixe d'une poulie et d'une courroie situées près du sol.*

Les grosses courroies reliant deux poulies situées *au plafond* sont retenues, en cas de rupture, par un protecteur en forme de passerelle (fig. 4).

Le graissage et le nettoyage des machines, la remise en place des courroies seront faits à l'arrêt.

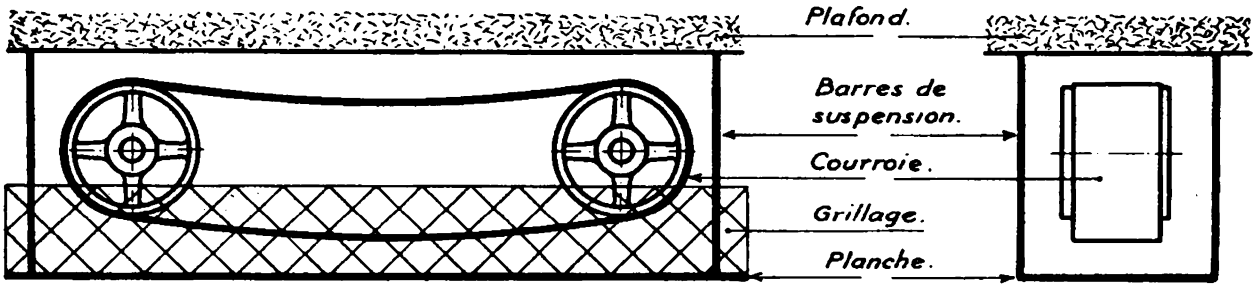


Fig 4 _ *Protecteur d'une grosse courroie reliant deux poulies situées "ou plafond".*

Eviter de porter des vêtements flottants car ils peuvent être happés par des organes en mouvement. La blouse est donc à proscrire.

Les outils à main doivent être emmanchés convenablement pour éviter des accidents graves aux mains (limes, grattoirs) ou leur projection dans l'atelier (marteaux) en cas de démanchement.

L'isolement des conducteurs électriques doit être vérifié fréquemment. Toute détérioration des conducteurs doit être signalée.

Un bon éclairage limite les causes d'accidents. Il permet de voir les organes dangereux.

L'ordre et la propreté doivent régner dans les ateliers. Les allées et passages, délimités par des traits marqués à la chaux, seront toujours libres. Les chiffons usagés seront mis dans des boîtes spéciales.

Le stockage des pièces par empilage doit être soigné car l'écroulement d'une pile peut être cause d'accident mortel.

L'amarrage des pièces à soulever sera fait convenablement avec des câbles en bon état.

Tout ouvrier occupé à des travaux de meulage doit porter des lunettes protectrices. En outre, la meule ne doit jamais être dépourvue de son capot protecteur (fig. 5).

La discipline intérieure des ateliers sera observée. La plupart des accidents ont leur cause dans la non observation des règlements.

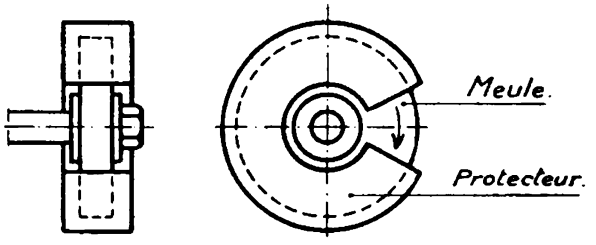


Fig 5 _ *Meule et son capot protecteur.*

III. — CE QU'IL FAUT FAIRE EN CAS D'ACCIDENT

Tout accident du travail, même le plus bénin, doit faire l'objet d'un rapport. L'accident non déclaré fait perdre ses droits à l'accidenté.

Les accidents légers seront soignés à l'infirmerie des ateliers. Les accidents graves sont du ressort du médecin.

Résumé

Le métier est la richesse de l'ouvrier. Pour conserver cette richesse l'ouvrier doit éviter les accidents.

Les causes d'accidents sont nombreuses. Ce sont principalement : l'utilisation maladroite des machines et des outils, le mauvais isolement des conducteurs électriques, le mauvais éclairage des lieux de travail, le désordre, l'inattention et l'indiscipline.

Pour les éviter il faut :

— laisser les organes protecteurs en place;

— nettoyer et graisser les machines à l'arrêt;

— éviter de porter des vêtements flottants;

— ne pas remettre les courroies à la main pendant la marche;

— ne pas toucher aux conducteurs électriques;

— porter des lunettes protectrices pour certains travaux;

— être ordonné et respecter la discipline imposée par les règlements intérieurs des ateliers.

L'habitude n'exclut pas le danger.

Tout accident du travail doit faire l'objet immédiat d'une déclaration de la part de l'accidenté.

DEUXIÈME PARTIE

MÉTROLOGIE

Notions sur les ajustements.

Mesure des dimensions des pièces.

Contrôle des surfaces planes.

Contrôle du parallélisme de deux surfaces planes.

Contrôle et mesure des angles.

MÉTROLOGIE

I. — DÉFINITION, BUTS, UNITÉS

La métrologie est la science des mesures. Elle étudie :

— les procédés permettant le calcul des dimensions, ou **cotes,** à donner aux pièces en vue d'assurer un fonctionnement rationnel d'un ensemble ;

— les différents moyens et appareils mis en œuvre pour contrôler rigoureusement ces cotes.

En mécanique, l'unité de mesure est le millimètre : *mm.* Les fractions de millimètre s'expriment en dixième de *mm* : 0,1 *mm,* en centième de *mm* : 0,01 *mm,* en millième de *mm* ou **micron** : 0,001 *mm* (symbole μ).

En menuiserie, les dimensions des pièces sont données en centimètres. Toutefois, les épaisseurs des planches sont exprimées en millimètres.

II. — ASSEMBLAGE DES PIÈCES

Une construction mécanique est un ensemble de pièces, ou **éléments,** réunis les uns aux autres par assemblage. Deux éléments peuvent former un **assemblage fixe** ou un **assemblage mobile.**

Un assemblage est fixe lorsque les éléments sont solidaires l'un de l'autre et occupent des positions relatives invariables.

Un assemblage est mobile lorsqu'un des éléments peut se mouvoir sur l'autre qui lui sert de guide.

Eléments d'un assemblage

Un assemblage (fig. 6) comprend :

— l'extérieur, ou contenant, ou femelle, ou **alésage ;**

— l'intérieur, ou contenu, ou mâle, ou **arbre.**

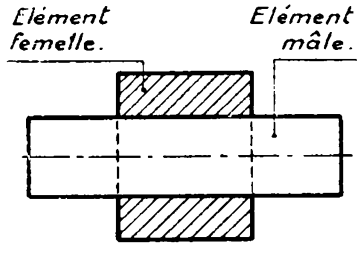


Fig 6 - *Eléments d'un assemblage.*

Un ajustement est avec **jeu** lorsque la dimension de l'élément femelle est plus grande que celle de l'élément mâle. Il est avec **serrage** dans le cas contraire.

Un jeu ou un serrage ne se mesurent pas. Ils se calculent par différence entre les cotes de la pièce femelle et de la pièce mâle.

Donc : cote femelle = cote mâle $\begin{matrix} + \text{ jeu} \\ - \text{ serrage.} \end{matrix}$

On peut cependant apprécier approximativement un jeu au toucher par le mouvement relatif des deux pièces.

1er **Ex.** : Cote de la pièce femelle : 40,1 *mm*. Cote de la pièce mâle : 40 *mm*. Différence : 40,1 — 40 = 0,1 *mm*.

Le résultat est positif : **il y a jeu.** La pièce mâle pénètre sans effort dans la pièce femelle et il est facile de mouvoir l'une ou l'autre à la main.

2e **Ex.** : Cote de la pièce femelle : 40 *mm*. Cote de la pièce mâle 40,05 *mm*. Différence : 40 — 40,05 = — 0,05 *mm*.

Le résultat est négatif : **il y a serrage.** La pièce mâle ne pénètre dans la pièce femelle que sous une forte pression, sous un choc, ou sans effort après dilatation de l'alésage (Cette dernière opération s'appelle le **frettage**). Il est impossible d'obtenir le mouvement relatif des deux pièces à la main.

III. — RÉALISATION PRATIQUE D'UN ASSEMBLAGE

A. Méthode pièce à pièce

L'ouvrier exécute un des deux éléments en respectant les formes et les cotes avec le plus de précision possible. Puis il exécute l'autre élément en utilisant le premier comme calibre.

La première pièce exécutée est généralement la pièce mâle, mais il n'y a pas obligation de commencer par cet élément. C'est à l'ouvrier de choisir suivant qu'un des deux éléments est plus facilement réalisable que l'autre.

B. Méthode en série

Les deux éléments sont exécutés séparément et mécaniquement.

La cote de chaque élément est déterminée d'après le principe suivant : on se fixe d'abord le jeu ou le serrage, on détermine la cote d'un élément puis on calcule la cote de l'autre élément.

Si l'usinage est correct, l'ajustement doit donner satisfaction.

C. Critique des deux procédés

La méthode pièce à pièce est longue et onéreuse car elle nécessite de nombreux tâtonnements. Le résultat dépend surtout de l'adresse de l'ouvrier. En outre, elle porte le grave inconvénient de ne pas assurer l'interchangeabilité. Son seul avantage est d'être réalisable sans outillage coûteux.

La méthode en série est très rapide, les tâtonnements étant évités du fait que les éléments sont réalisés séparément et mécaniquement; elle est donc économique. Pour les mêmes raisons, elle assure le gros avantage de l'interchangeabilité qui facilite le remplacement d'une pièce usée ou brisée, avec la certitude d'un bon fonctionnement.

Par contre elle exige un outillage nombreux et coûteux mais vite amorti par la grande production qu'il permet.

IV. — TOLÉRANCES DE FABRICATION

Les cotes portées sur le dessin sont appelées **cotes nominales** (fig. 7).

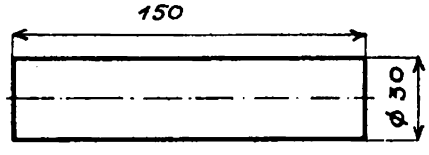


FIG 7 _ *Les cotes nominales sont: longueur 150mm, diamètre 30mm*

Or, l'expérience prouve qu'il est impossible d'exécuter une pièce à des cotes exactes. Il est donc

nécessaire de donner à l'ouvrier une longueur et un diamètre **maxima** qu'il ne doit pas dépasser ainsi qu'une longueur et un diamètre **minima** au-dessous desquels il ne doit pas descendre.

Ex. : Longueur maxi : 150 + 0,3 = 150,3 *mm.*
Longueur mini : 150 — 0,2 = 149,8 *mm.*
Différence possible : 150,3 — 149,8 = 0,5 *mm.*

Diamètre maxi : 30 — 0 = 30 *mm.*
Diamètre mini : 30 — 0,05 = 29,95 *mm.*
Différence possible : 30 — 29,95 = 0,05 *mm.*

Les différences possibles tolérées (0,5 et 0,05 *mm*) s'appellent **tolérances de fabrication,** ou **tolérances d'usinage,** ou encore **intervalles de tolérance** (symbole I.T.).

Les tolérances de fabrication, déterminées par l'expérience, sont inscrites sur le dessin, à la suite de la cote nominale (fig. 8).

Il est bien évident que toute pièce dont les **cotes réelles** sont comprises dans les tolérances de fabrication est acceptable.

Dans l'exemple choisi, on voit, pour qu'un arbre soit acceptable, que son diamètre doit être compris entre 29,95 *mm* et 30 *mm.*

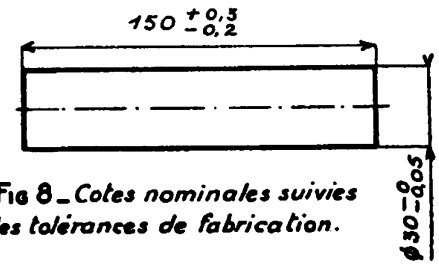


Fig 8 _ *Cotes nominales suivies des tolérances de fabrication.*

En opérant de même avec un alésage coté $30\ ^{+0,05}_{+0}$ cet alésage sera *bon* si son diamètre est compris entre 30,05 (cote maxi) et 30 (cote mini).

L'assemblage d'un arbre *bon* avec un alésage *bon* donne obligatoirement du jeu. Les pièces sont alors interchangeables.

V. — SYSTÈME INTERNATIONAL A LIMITES I.S.O. (1)

Dans l'exemple précédent, et en considérant le diamètre de l'arbre seulement :

1° La tolérance de fabrication précise des **limites** qu'il ne faut pas dépasser et qui déterminent la **cote maxi** 30 et la **cote mini** 29, 95 (fig. 9).

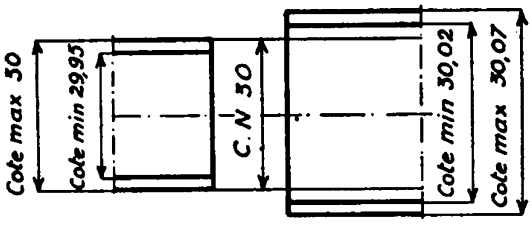


Fig 9 _ *Variations des cotes limites assurant un même intervalle de tolérance.*

2° On peut obtenir une même tolérance de fabrication en déplaçant les limites tout en conservant le même intervalle.

Ex. : Cote maxi 30,07 *mm.*
Cote mini 30,02 *mm.*
Tolérance de fabrication : 30,07 — 30,02 = 0,05 *mm.*

Remarquons que l'arbre qui a la cote maxi 30,07, supérieure à la cote maxi de l'alésage précédent, 30,05, donne toujours avec cet alésage un assemblage avec serrage.

On comprend aisément qu'il est possible d'obtenir, pour une même tolérance de fabrication, des **positions** de limites qui peuvent varier à l'infini. Il est donc difficile de faire un choix.

(1) I.S.O. est l'abréviation de l'expression : International Standerdizing Organisation.

3° La valeur d'une tolérance de fabrication varie avec le rôle de la pièce. Pour un arbre moins précis, la tolérance pourrait être de 0,1 *mm* ou même 0,2 *mm*. Il existe donc une infinité de grandeurs de tolérances suivant la précision à obtenir, c'est-à-dire suivant la **qualité** désirée.

Afin de faciliter et de limiter le choix de la **position** des cotes limites et celui de la grandeur des tolérances, ou **qualité**, le système international à limites a retenu un certain nombre d'entre elles. En outre, il a été décidé que les positions seraient représentées par des lettres majuscules pour les alésages et minuscules pour les arbres, et que les qualités seraient représentées par des nombres.

Il est donc possible d'établir la **cotation normalisée** d'un dessin (fig. 10, 11 et 12).

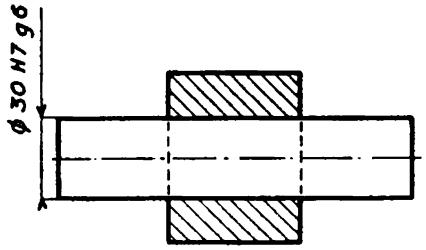


Fig 10. *Cotation normalisée de l'ensemble.*

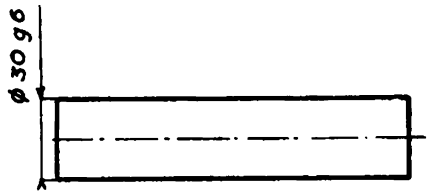


Fig 11. *Cotation normalisée de l'arbre.*

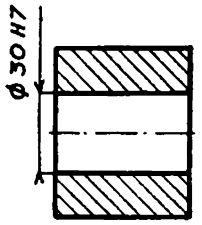


Fig 12. *Cotation normalisée de l'alésage*

En se référant à un tableau, on peut déterminer les cotes maxi et mini correspondant à chaque élément :

Alésage 30 H7	Cote maxi : 30 + 0,021	= 30,021 *mm*.
	Cote mini : 30 + 0	= 30 *mm*.
Arbre 30 g6	Cote maxi : 30 — 0,007	= 29,993 *mm*.
	Cote mini : 30 — 0,020	= 29,980 *mm*.

Il y a jeu maxi suivant que l'on assemble le plus gros alésage avec le plus petit arbre, et jeu mini suivant que l'on assemble le plus petit alésage avec le plus gros arbre.

Jeu maxi : 30,021 — 29,980 = 0,041 *mm* = 41 μ.

Jeu mini : 30 — 29,993 = 0,007 *mm* = 7 μ.

Résumé

La métrologie est la science des mesures.

L'unité de mesure en mécanique est le millimètre. En menuiserie, les cotes sont exprimées en centimètres; seule l'épaisseur des planches est donnée en millimètres.

Un assemblage est formé de deux éléments :

— l'élément extérieur, ou contenant, ou femelle, ou *alésage*,

— l'élément intérieur, ou contenu, ou mâle, ou *arbre*.

Un assemblage peut être *avec jeu* (assemblage mobile) ou *avec serrage* (assemblage fixe).

Un jeu ou un serrage ne se mesurent pas; ils se calculent.

Pour exécuter un assemblage, on peut employer la méthode pièce à pièce ou la méthode en série.

La méthode pièce à pièce est longue, onéreuse et n'assure pas l'interchangeabilité des pièces, mais elle n'exige pas un outillage coûteux.

La méthode en série est beaucoup plus rapide, plus économique, plus précise. Elle assure l'interchangeabilité. Par contre, elle demande un outillage important et précis, donc coûteux.

Pour permettre la réalisation d'une pièce quelconque, il faut donner à l'exécutant des *tolérances de fabrication* qui sont déterminées par l'intervalle qu'il y a entre la *cote maxi* et la *cote mini.*

Une pièce est acceptable lorsque sa cote réelle est comprise entre la cote maxi et la cote mini.

Le *système international à limites* a précisé les différentes *positions* des tolérances de fabrication ainsi que leurs diverses valeurs, ou *qualités*. Les positions sont représentées par des lettres (majuscules pour les alésages, minuscules pour les arbres) et les qualités par un nombre.

Une cotation normalisée comprend donc la cote nominale suivie d'une lettre, suivie elle-même d'un nombre.

MÉTROLOGIE (Suite) .

MESURE DES DIMENSIONS DES PIÈCES

La mesure des dimensions des pièces peut être effectuée :

— **à l'aide d'instruments donnant directement les cotes : ce sont les instruments à lecture directe appelés aussi appareils à dimension variable ou encore appareils à traits : Ex. : le pied à coulisse;**

— **en comparant ces dimensions à des cotes étalons à l'aide d'instruments par comparaison. Ex. : le comparateur à cadran.**

I. — PIED A COULISSE

Le pied à coulisse (fig. 13) est l'instrument type de mesure à dimension variable.

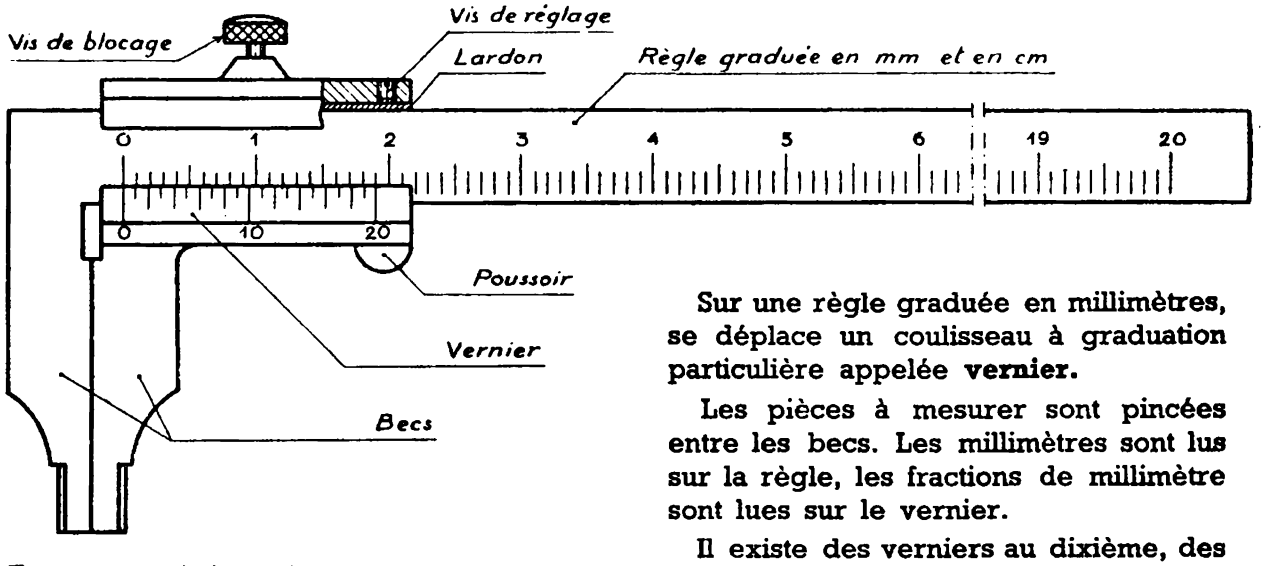


Fig 13 _ *Pied à coulisse avec vernier au vingtième.*

Sur une règle graduée en millimètres, se déplace un coulisseau à graduation particulière appelée **vernier.**

Les pièces à mesurer sont pincées entre les becs. Les millimètres sont lus sur la règle, les fractions de millimètre sont lues sur le vernier.

Il existe des verniers au dixième, des verniers au vingtième et des verniers au cinquantième de millimètre.

A. Principe du vernier

1° Vernier au dixième. — Le vernier mesure 9 *mm* et est divisé en 10 parties égales (fig. 14). Chaque division vaut donc 9/10 de *mm*.

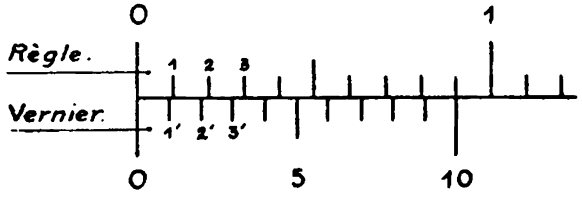


Fig 14 _ *Principe du vernier au* $\frac{1}{10}$

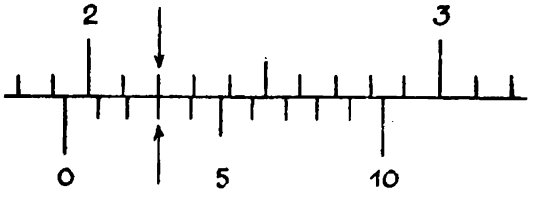


Fig 15 _ *Lecture : 19 + 0,3 = 19,3 mm*

Quand les deux becs sont en contact, le zéro du vernier est en concordance avec le zéro de la règle. Il y a entre les divisions 1 et 1' $\frac{10}{10} - \frac{9}{10} = \frac{1}{10}$ de *mm*, entre les divisions 2 et 2' $\frac{2 \times 10}{10} - \frac{2 \times 9}{10} = \frac{20}{10} - \frac{18}{10} = \frac{2}{10}$ de *mm* ... et ainsi de suite.

Lorsque les divisions 1 et 1', 2 et 2' ... sont en concordance, il y a entre le zéro de la règle et le zéro du vernier, c'est-à-dire entre les becs, une distance de $\frac{1}{10}, \frac{2}{10}$ ... de *mm*.

Le même raisonnement s'applique à partir d'une division quelconque de la règle, c'est-à-dire d'une cote entière quelconque.

Exemple de lecture (fig. 15). — Le zéro du vernier est entre les divisions 19 et 20 de la règle et la 3e division du vernier est en concordance avec une division de la règle. La mesure est 19 *mm* + 0,3 *mm* = 19,3 *mm*.

2° Vernier au vingtième. — Le vernier mesure 19 *mm* et est divisé en 20 parties égales (fig. 16).

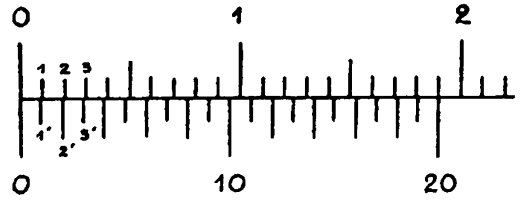


Fig 16 - *Principe du vernier au* $\frac{1}{20}$

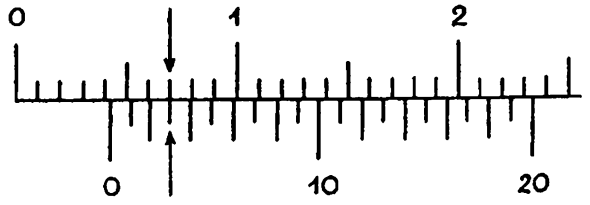


Fig 17 - *Lecture :* $4 + \frac{3}{20} = 4,15\ mm$

La division 1' est en retrait de $\frac{1}{20}$ sur la division 1, la division 2' est en retrait de $\frac{2}{20}$ sur la division 2 ...

Les divisions de rang 2 du vernier correspondent à des dixièmes de *mm* car $\frac{2}{20} = \frac{1}{10}$.

La figure 17 indique la mesure 4 *mm* + $\frac{3}{20}$ de *mm* = 4,15 *mm*.

3° Vernier au cinquantième. — Le vernier au cinquantième est réalisé en divisant une longueur de 49 *mm* en 50 parties égales (fig. 18).

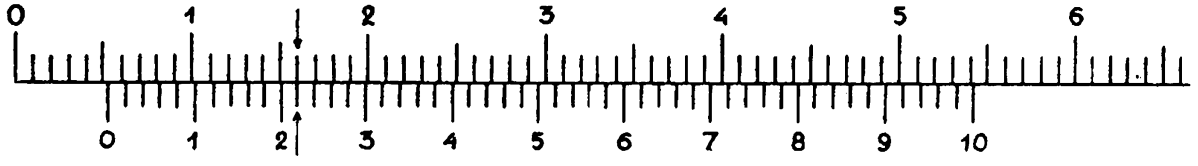


Fig 18 - *Vernier au* $\frac{1}{50}$ *indiquant la cote 5,22 mm*

Les divisions de rang 5, 10, 15 ... marquées d'un trait long et numérotées 1, 2, 3 ... indiquent les dixièmes de *mm* car $\frac{5}{50} = \frac{1}{10}, \frac{10}{50} = \frac{2}{10}, \frac{15}{50} = \frac{3}{10}$ .... Les divisions intermé-

diaires correspondent aux cinquantièmes qui peuvent être transformés en centièmes en faisant $\frac{1}{50} = \frac{2}{100}$.

La dimension lue sur la figure 18 est : 5 *mm* + $\frac{2}{10}$ de *mm* + $\frac{1}{50}$ de *mm* = 5,22 *mm*.

Nota. — Le pied à coulisse permet la mesure des cotes intérieures (fig. 19). Chaque bec ayant une largeur de 5 *mm*, il faut ajouter 10 *mm* à la cote lue pour obtenir la cote réelle.

Sur la figure 19 la cote lue est 11 *mm*. La cote réelle est 11 + (5 × 2) = 21 *mm*.

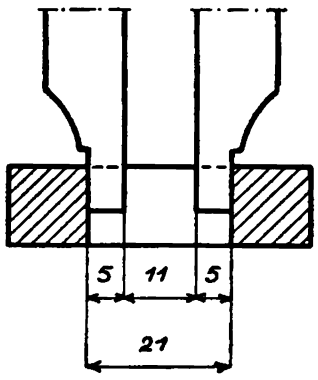


Fig 19 - *Cote intérieure : 11 + (5 x 2) = 21 mm*

B. Précision de la mesure au pied à coulisse

Elle dépend :

— de l'épaisseur des traits de la graduation. Plus les traits sont fins, plus il est facile d'apprécier la concordance des graduations de la règle et du vernier ;

— de l'acuité visuelle de l'opérateur. Il est difficile d'apprécier exactement la concordance des traits de graduation, surtout sur un vernier au $\frac{1}{10}$, même si les traits sont fins ;

— des erreurs de graduation, c'est-à-dire des espacements inégaux des traits sur la longueur de la règle ;

— de l'usure de la règle et du coulisseau. Pour compenser cette usure et permettre un bon fonctionnement, le coulisseau est muni d'un ressort de rattrapage de jeu, ou *lardon*, qui doit toujours être convenablement réglé ;

— du fléchissement des becs sous la poussée de l'opérateur. Cette poussée dépend de la sensibilité au toucher de l'opérateur ; elle aura moins d'effet si la mesure est prise à *fond de becs* qu'à *bout de becs*.

Dans les meilleures conditions, on ne peut évaluer une mesure qu'avec une précision de ± $\frac{1}{10}$ de *mm* avec un pied au dixième, ± $\frac{1}{20}$ de *mm* avec un pied au vingtième, ± $\frac{1}{50}$ de *mm* avec un pied au cinquantième.

C. Entretien du pied à coulisse

Le pied à coulisse doit être manié et entretenu avec soin. Pour lui conserver sa précision il faut :

— le tenir en parfait état de propreté ;

— le graisser au suif seulement, car le suif adhère mieux au métal que l'huile ;

— le poser dans son écrin ou sur un chiffon propre ;

— tenir le lardon convenablement réglé ;

— enfin prendre les mesures à *fond de becs* chaque fois que cela est possible.

II. — PIED A COULISSE DE PROFONDEUR

A l'aide de cet instrument (fig. 20) on peut mesurer une profondeur ou une hauteur d'épaulement.

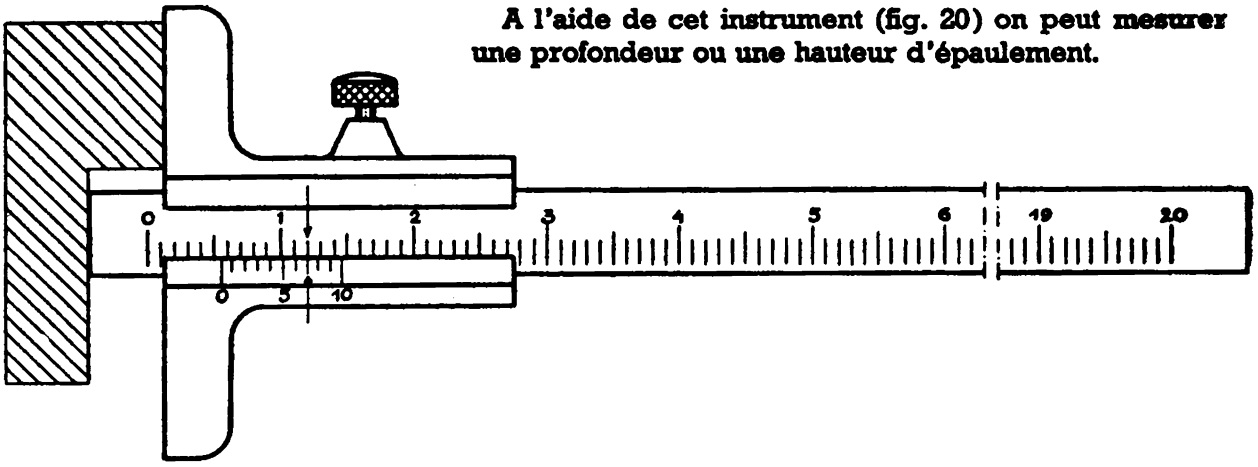


Fig 20 - *Pied de profondeur au $\frac{1}{10}$ indiquant la cote 5,7 mm.*

Les pieds de profondeur sont munis de verniers identiques aux précédents. Ces instruments s'appellent aussi jauges de profondeurs.

Résumé

La mesure des dimensions des pièces peut être effectuée à l'aide *d'instruments à lecture directe* parmi lesquels l'instrument type est le *pied à coulisse*.

La lecture au pied à coulisse est basée sur le principe du vernier qui permet d'évaluer des mesures avec une précision de $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$ ou $\frac{1}{50}$ de *mm* suivant qu'il est au $\frac{1}{10}$, au $\frac{1}{20}$ ou au $\frac{1}{50}$.

La lecture au pied de profondeur, appelé plus communément *jauge de profondeur*, est basée sur le même principe.

Une mesure prise au pied à coulisse peut être erronée pour les causes suivantes :

erreur d'espacement des traits de graduation, épaisseur des traits, défaut d'appréciation de concordance des traits de la part de l'opérateur, fléchissement des becs sous l'effort de pincement des pièces, usure de l'instrument.

Un pied à coulisse ne peut conserver sa précision que s'il est manié délicatement et entretenu avec soin.

MÉTROLOGIE (Suite)

MESURE PAR COMPARAISON

Pour comparer des objets, des pièces, il faut d'abord les placer dans les mêmes conditions, puis chercher les différences existant entre elles.

Cette méthode est utilisée à l'atelier pour mesurer des pièces par comparaison. L'élément de comparaison s'appelle étalon.

I. — PRINCIPE DE LA MESURE PAR COMPARAISON

Sur un plan, matérialisé par un marbre d'atelier, posons une pièce et deux trusquins (fig. 21) dont les pointes sont réglées à des hauteurs différentes. Nous pouvons comparer les trois hauteurs C_m, C_M et H puisque toutes trois partent du même plan dit plan de comparaison.

La pièce passant sous la pointe 2 mais ne passant pas sous la pointe 1 , nous pouvons écrire :

$$H < C_M, \quad H > C_m, \quad C_M > C_m \quad \text{soit} \quad C_m < H < C_M.$$

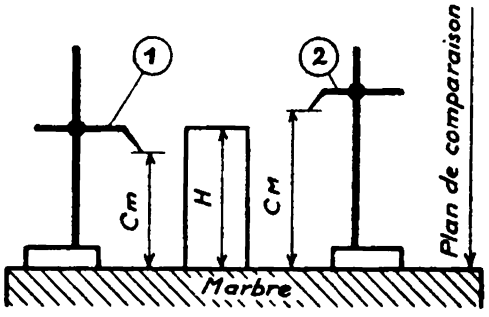


Fig 21 – *Comparaison de trois hauteurs.*

Si nous admettons que C_M et C_m sont les cotes maxi et mini d'un élément d'assemblage, nous pouvons dire que la hauteur H est dans la tolérance de fabrication et, par suite, que la pièce est acceptable.

Il est donc possible d'appliquer la méthode de mesure par comparaison pour vérifier des cotes.

Avantages de cette méthode

1° Pour la vérification d'une série de pièces identiques, cette méthode est plus rapide que celle qui consiste à mesurer chaque pièce à l'aide d'un instrument à lecture directe. Par ailleurs, les appareils utilisés sont généralement indéréglables.

2° La vérification est indépendante de l'opérateur. Elle élimine donc les erreurs de lecture et supprime les contestations entre ouvriers et contrôleurs.

II. — COMPARATEUR A CADRAN ET CALES ÉTALONS

La méthode exposée précédemment ne permet pas d'évaluer la cote effective, ou cote réelle, de la pièce, ni les différences existant entre H, C_M et C_m.

Pour mesurer ces différences on peut employer le comparateur à cadran, après son étalonnage à l'aide de cales étalons dites encore cales Johansson.

A. Comparateur à cadran

Une *touche*, ou palpeur, termine une extrémité d'une tige qui peut se déplacer axialement de quelques millimètres (fig. 22). Dans son déplacement la tige fait tourner une aiguille devant un cadran gradué en 100 parties égales. A un déplacement de une division de l'aiguille correspond un déplacement de 0,01 *mm* de la touche.

Le cadran étant mobile en rotation, il est possible d'amener la division zéro en regard de l'aiguille.

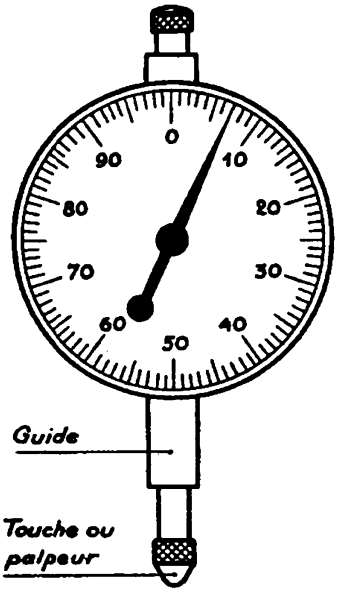


Fig 22 _ *Comparateur à cadran.*

B. Cales étalons

Ce sont des prismes en acier trempé (fig. 23). La cote, gravée sur la cale, est donnée par la distance entre deux faces opposées, rigoureusement planes et parallèles.

L'ordre de précision de cette distance est de $\frac{1}{10\,000}$ à $\frac{4}{10\,000}$ de *mm* soit $\frac{1}{10}$ à $\frac{4}{10}$ de μ. Pratiquement on peut admettre la cote comme exacte.

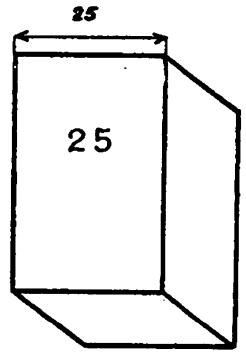


Fig 23 _ *Cale étalon.*

Les cales sont livrées en boîte (47 cales par exemple).

Mesure des erreurs au comparateur à cadran

Le comparateur étant monté sur son support (fig. 24) qui repose sur un marbre, la *touche* est réglée en hauteur à l'aide d'une cale étalon. Le cadran est ensuite manœuvré pour amener la division zéro en face de l'aiguille. Le comparateur est alors *étalonné*.

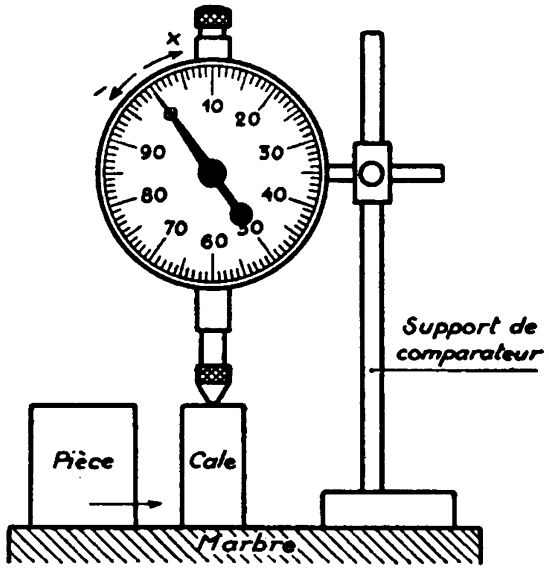


Fig 24 _ *Etalonnage du comparateur.*

Les pièces à vérifier sont mises à la place de la cale. Si l'aiguille dévie dans un sens ou dans l'autre, la différence en plus ou en moins est indiquée par le nombre de centièmes de millimètre marqués par l'aiguille.

Dans le cas d'une tolérance de $\pm \frac{0{,}05}{0{,}02}$ l'aiguille ne devra pas dépasser la division 5 et la division 98. Si une de ces divisions est dépassée, il y a erreur de dimension. La grandeur de cette erreur étant indiquée par l'aiguille, **le comparateur est donc un appareil de mesure des erreurs de cotes.**

III. — VÉRIFICATEURS A TOLÉRANCE

La construction mécanique est aujourd'hui une industrie de précision. La mesure de cotes, faite au pied à coulisse ou avec d'autres instruments à lecture directe, ne peut sélectionner des pièces répondant à ce besoin de précision.

D'autre part, il n'est pas nécessaire de connaître la cote réelle d'une pièce. Il suffit de savoir si elle est comprise entre la cote maxi et la cote mini.

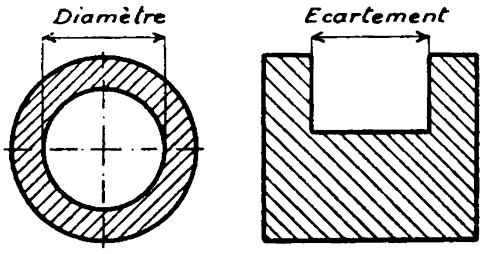


Fig 25 _ *Cotes intérieures à contrôler: diamètre ou écartement.*

Pour ces raisons, on a étendu la fabrication et l'emploi des divers appareils de mesure par comparaison pour contrôler les pièces, pendant et après l'usinage. Ces appareils s'appellent **vérificateurs à tolérance.**

Pour contrôler une cote il faut donc deux vérificateurs : un pour la cote maxi, l'autre pour la cote mini.

A. Tampon lisse double

Le contrôle d'une cote intérieure (fig. 25) exige :

— un vérificateur *entre* pour affirmer que la cote n'est pas trop faible ; c'est le **vérificateur mini ;**

— un vérificateur *n'entre pas* pour affirmer que la cote n'est pas trop grande ; c'est le **vérificateur maxi.**

Si ces deux conditions sont remplies, la pièce est acceptable car les vérificateurs ont pour cote, l'un la cote mini de l'élément femelle, l'autre la cote maxi du même élément. La pièce a donc bien une cote réelle comprise entre les cotes limites.

Chaque vérificateur est constitué par un cylindre en acier trempé, ou **tampon** (fig. 26), à surface parfaitement lisse, monté à une extrémité d'une poignée droite. Sur la poignée est marquée la cote nominale suivie des symboles de tolérance (position et intervalle) du système international à limites. L'ensemble constitue un **tampon lisse double en une pièce** (fig. 26).

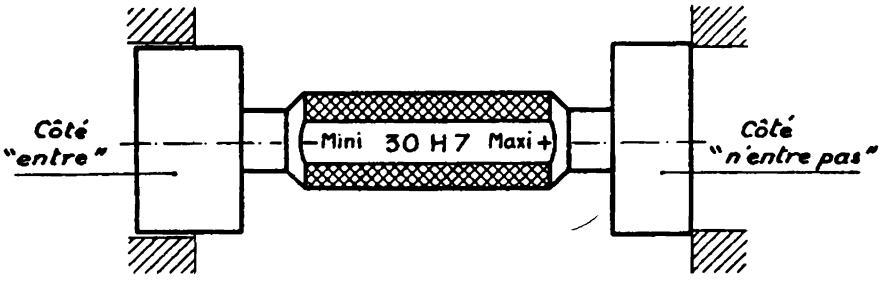


Fig 26 _ *Tampon lisse double en une seule pièce.*

Remarques importantes. — L'utilisation des tampons lisses exige :

— de grands soins de propreté,

— un enfoncement *sans forcer*,

— la concordance rigoureuse de l'axe du tampon et de l'axe de la pièce à vérifier, au début de la pénétration. Dans le cas contraire, il peut y avoir coincement.

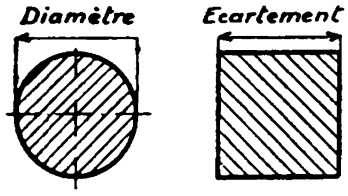


Fig 27_ *Cotes extérieures à contrôler : diamètre ou écartement.*

Chaque vérificateur est constitué par deux mâchoires (fig. 28). L'ensemble s'appelle **calibre-mâchoires,** ou **fer à cheval,** et porte, gravés en son milieu, la cote nominale et les symboles de tolérance.

Pour l'emploi de ces vérificateurs, observer les mêmes règles que pour l'emploi des tampons lisses.

B. Calibre-mâchoires

Les cotes extérieures (fig. 27) sont vérifiées suivant la même méthode.

Le vérificateur *entre* est à la cote maxi de l'élément mâle, le vérificateur *n'entre pas* est à la cote mini de cet élément.

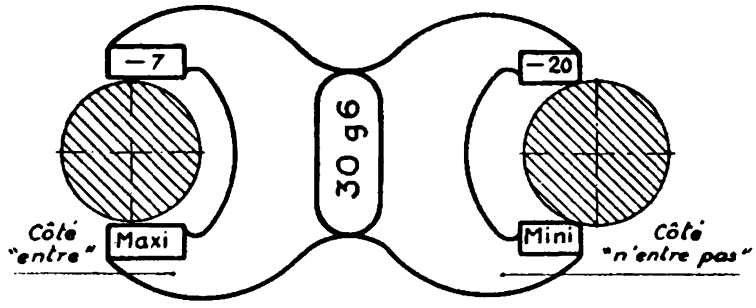


Fig 28 _ *Calibre-mâchoires en une pièce.*

Résumé

Pour contrôler une dimension on peut :

— rechercher et mesurer la différence existant entre cette dimension et la cote nominale théorique ;

— rechercher si la cote à vérifier, ou cote réelle, est comprise entre les limites de tolérance.

Dans les deux cas on fait une *comparaison de dimensions.*

a) *Comparateur à cadran.* — A l'aide de cet appareil on décèle l'erreur de mesure.

Le comparateur est *étalonné* à la cote nominale d'après *une cale étalon* de dimension pratiquement exacte. La cale est ensuite remplacée par la pièce à contrôler. L'erreur de dimension, en plus ou en moins de la tolérance, est indiquée par le comparateur avec une précision de 0,01 mm.

b) *Vérificateurs à tolérance.* — Les vérificateurs à tolérance ne donnent pas la cote de la pièce mais ils contrôlent si la cote réelle est comprise entre la cote maxi et la cote mini.

Ils comprennent :

— les *tampons lisses* pour le contrôle des alésages (pièces femelles) ;

— les *calibres-mâchoires,* ou *fers à cheval,* pour le contrôle des arbres (pièces mâles).

Chaque instrument comporte un vérificateur *entre* et un vérificateur *n'entre pas*. Sur le corps sont marqués la cote nominale et les symboles de tolérance d'usinage.

L'utilisation des vérificateurs à tolérance exige :

— de grands soins de propreté;

— une pénétration *sans forcer*;

— un positionnement correct par rapport à l'axe de la pièce à vérifier.

Le contrôle des cotes par comparaison est plus rapide et plus précis que la mesure par instruments à lecture directe.

MÉTROLOGIE (Suite)

CONTROLE DES SURFACES PLANES

I. — DÉFINITION ET PROPRIÉTÉS GÉOMÉTRIQUES DU PLAN

Un **plan, ou surface plane,** est une surface telle que la droite qui passe par deux points quelconques de cette surface y est contenue tout entière (fig. 29).

D'après cette définition, un plan jouit des propriétés suivantes (fig. 30) :

— il peut contenir une infinité de droites;

— ces droites peuvent être parallèles ou sécantes.

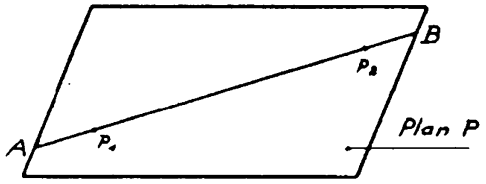


Fig 29_*Les deux points p_1 et p_2 sont dans le plan P. La droite A B est contenue tout entière dans le plan.*

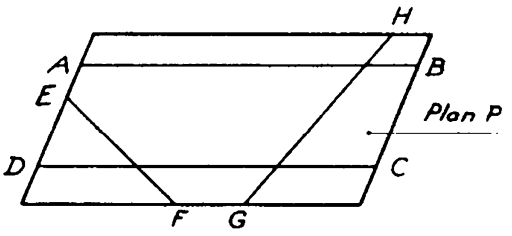


Fig 30_*Les droites AB, CD, EF, GH, contenues dans le plan, peuvent être parallèles entre elles ou sécantes.*

Considérons la fig. 31. Les deux droites AB et CD sont parallèles et contenues dans la surface S. Mais la droite EF n'y est pas contenue tout entière (EO est en-dessous, OF est en-dessus).

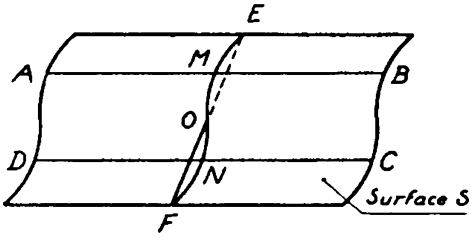


Fig 31_*La droite EF n'est pas contenue entièrement dans la surface S. La surface S n'est pas un plan.*

Cette surface ne répond pas à la définition : ce n'est pas un plan. La surface est *gauche*. (La ligne EMONF marquerait l'intersection de la surface avec un plan perpendiculaire aux droites AB et CD).

Donc, si nous voulons vérifier la planéité d'une surface, il ne faut pas nous limiter à voir si elle contient des droites parallèles, mais il est indispensable de contrôler que plusieurs droites concourantes y sont contenues entièrement.

II. — CONTROLE DES SURFACES PLANES

Nous étudierons le contrôle au marbre et le contrôle à la règle.

A. Contrôle par l'emploi du marbre

Principes du contrôle :

1° Par trois points non en ligne droite on peut faire passer un plan et un seul.

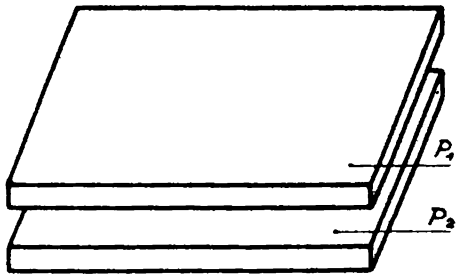


Fig 32 _ *Les deux plans peuvent s'appuyer parfaitement l'un sur l'autre.*

2° Un plan peut glisser sur lui-même.

Première constatation. — Deux plans, P_1 et P_2 (fig. 32), matérialisés par deux plaques planes posées l'une sur l'autre, joignent parfaitement (1er principe).

Si l'une des plaques est enduite d'un colorant, l'autre s'enduira du même produit si on la frotte légèrement sur la première (2e principe).

Deuxième constatation. — Sur un plan enduit d'un colorant, posons une surface S légèrement *gauche* et frottons-la sur le plan. Seules les parties de la surface en contact avec le plan seront colorées (fig. 33).

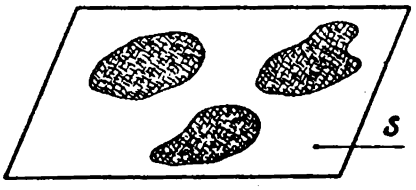


Fig 33 _ *Les taches montrent que la surface S n'est pas plane.*

Ces deux constatations justifient l'emploi du marbre pour contrôler une surface plane.

En mécanique, on appelle **marbre** une table en fonte (fig. 34) dont le dessus, bien dressé, matérialise un plan et constitue la surface de référence.

Le dessous (fig. 35) est nervuré pour empêcher toute déformation du plan.

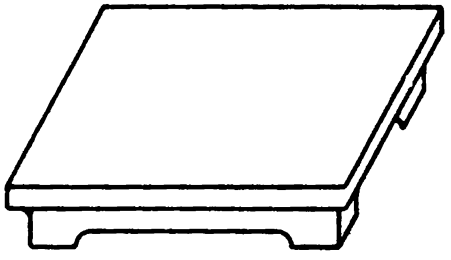


Fig 34 _ *Marbre d'établi. Le dessus est plan.*

L'enduit colorant est de la sanguine, ou rouge d'Angleterre, délayée dans de l'huile.

L'emploi du marbre exige les précautions suivantes :

— le marbre et la surface à vérifier doivent être propres,

— la sanguine doit être étendue en une couche très mince,

— le frottement de la pièce sur le marbre doit se faire sous faible pression, pour éviter les déformations, surtout si la pièce est mince,

— les mouvements doivent se faire suivant plusieurs directions,

— la durée du frottement doit être très courte.

Remarque. — On admet qu'une surface est plane lorsqu'elle présente des points de contact assez rapprochés les uns des autres.

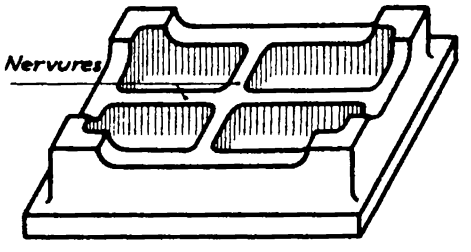


Fig 35 _ *Dessous de marbre. Les nervures empêchent la déformation du plan.*

B. Contrôle par l'emploi de la règle

L'intersection de deux plans détermine une arête droite (fig. 36). Si les quatre faces du prisme sont planes et parallèles deux à deux, les quatre arêtes sont droites et

parallèles deux à deux. En mécanique, un tel prisme s'appelle une **règle d'ajusteur.**

Posons une arête de la règle sur un plan (fig. 37). La droite, matérialisée par l'arête,

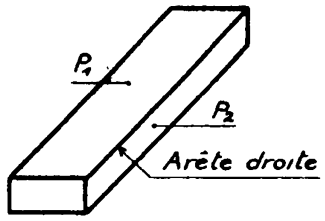


Fig 36_ *L'intersection des plans P_1 et P_2 détermine une arête droite*

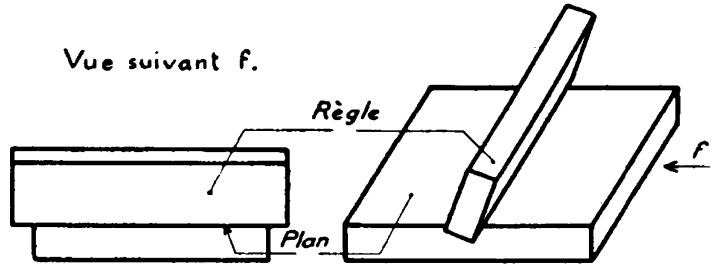


Fig 37_ *La droite matérialisée par l'arête de la règle est contenue tout entière dans le plan.*

est contenue tout entière dans le plan, et en regardant suivant la flèche *f*, aucun *jour* n'apparaît entre l'arête et le plan.

Posons maintenant l'arête de la règle sur une surface non plane (fig. 38). La droite, repré-

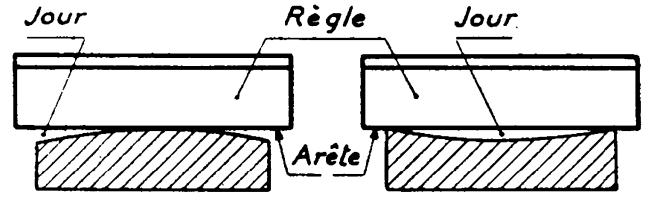


Fig 38_ *L'arête n'est pas contenue tout entière dans la surface non plane. Des jours sont visibles.*

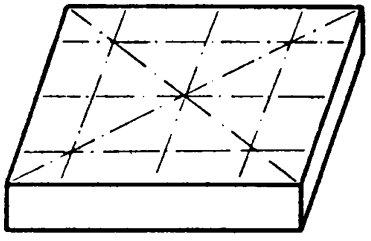


Fig 39_ *Les diverses positions de la règle sont indiquées par les traits mixtes.*

sentée par l'arête, n'est pas contenue entièrement dans la surface. Des *jours* sont alors visibles.

La règle peut donc être utilisée pour le contrôle des surfaces planes. Mais il faut, pour que le contrôle soit complet, l'effectuer suivant plusieurs directions parallèles et sécantes (fig. 39). (Revoir les propriétés du plan.)

La règle doit être transportée dans les diverses positions sans frotter sur la surface afin d'éviter une usure rapide des arêtes.

Forme et constitution des règles

Les règles peuvent avoir des sections diverses (fig. 40).

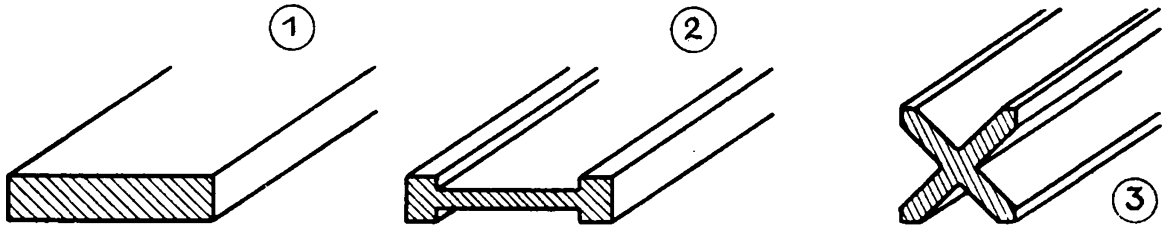


Fig 40_ *Diverses sections de règles.*

Les sections 2 et 3 sont préférables à la section 1 parce qu'elles assurent, à surface égale, une plus grande rigidité de la règle.

Pour le contrôle des petites surfaces, l'emploi de la règle ordinaire ou du marbre est parfois impossible. On fait alors usage de la **règle à filament** (fig. 41). Le filament est l'intersection des deux plans qui déterminent un angle très aigu.

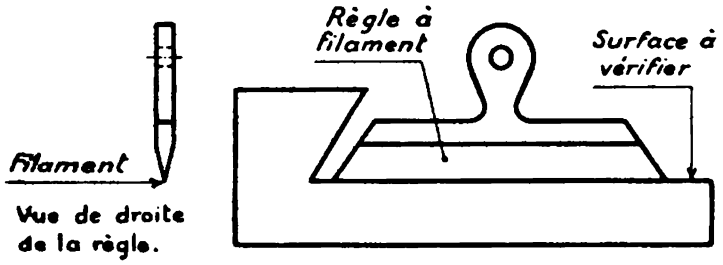


Fig 41_ *Règle à filament avec exemple d'emploi.*

Une règle doit être en acier trempé et rectifié. La trempe lui fait acquérir une grande dureté qui lui permet de mieux résister à l'usure ; la rectification lui confère la précision.

III. — CRITIQUES DES DEUX PROCÉDÉS DE CONTROLE

Le contrôle au marbre est plus précis que le contrôle à la règle ; il renseigne, du même coup, sur toute la surface.

La règle, au contraire, ne permet qu'un contrôle partiel. En outre, même pour un œil exercé, certaines lignes légèrement courbes de la surface peuvent ne pas être décelées. Cependant, pour *lire* une surface contrôlée au marbre, il faut tenir compte du fait suivant :

La couche de sanguine, aussi mince soit-elle, a toujours une certaine épaisseur. Il n'est donc pas certain, même si la surface contrôlée est entièrement colorée, que toute cette surface *porte*, c'est-à-dire qu'elle soit rigoureusement plane. Une observation attentive montre qu'il existe, dans la partie colorée, des taches brillantes provenant d'une disparition presque complète de la sanguine par suite du frottement direct de la surface sur le marbre (fig. 42). Seules les parties brillantes sont dans un même plan.

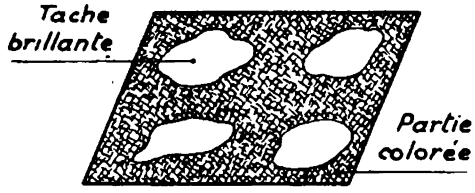


Fig 42 *Aspect d'une surface vérifiée au marbre avec 4 parties portantes seulement.*

La vérification au marbre ne renseigne pas sur la profondeur des creux. La vérification à la règle, pour un ouvrier exercé, permet de l'évaluer approximativement.

Résumé

Un *plan*, ou *surface plane*, est une surface telle que la droite qui passe par deux points quelconques de cette surface y est contenue tout entière.

Le contrôle d'une surface plane peut être effectué à l'aide d'un marbre ou à l'aide d'une règle.

a) *Contrôle au marbre.* — Un *marbre* est une table en fonte dont le dessus, parfaitement plan, est la *surface de référence*.

Sur cette surface, ou plus simplement sur le marbre, on étend une mince

couche de sanguine, puis on y appuie la surface à contrôler à laquelle on imprime de légers déplacements sous faible pression.

Si la surface est plane, elle sera teintée de sanguine sur toute son étendue.

b) *Contrôle à la règle*. — Une règle est un prisme dont les faces planes déterminent, par leur intersection, des arêtes droites.

Ces arêtes, posées suivant des positions parallèles et sécantes sur la surface à vérifier, matérialisent les droites qu'elle contient ou ne contient pas. Si des *jours* apparaissent entre l'arête et la surface, celle-ci n'est pas plane.

c) *Critique des deux procédés de contrôle :*

— Le contrôle au marbre est plus précis que le contrôle à la règle parce qu'il est fait d'un même coup sur toute la surface, alors que le contrôle à la règle est fait sur des lignes seulement.

Pour *lire* une surface contrôlée au marbre, il faut rechercher les *parties portantes*.

— La vérification au marbre ne renseigne pas sur la profondeur des creux qui peuvent exister sur la surface. La vérification à la règle permet de l'évaluer approximativement.

Le contrôle à la règle fait par un observateur exercé renseigne suffisamment dans les cas où la planéité de la surface n'est pas demandée avec une trop grande précision.

MÉTROLOGIE (Fin)

CONTROLE DU PARALLÉLISME DE DEUX SURFACES PLANES

I. — GÉOMÉTRIE

DEFINITION. — Deux plans sont parallèles quand ils n'ont aucun point commun.

Théorème. — Si deux plans sont parallèles, tous les points de l'un sont équidistants de l'autre.

II. — PRINCIPE DU CONTROLE DU PARALLÉLISME DE DEUX PLANS

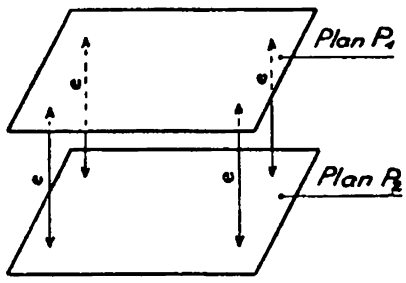


Fig 43 - *Les plans P_1 et P_2 sont parallèles car leur écartement e est constant.*

En vertu de ce qui précède, pour contrôler le parallélisme de deux plans, il faut vérifier la constance de leur écartement (fig. 43).

Deux méthodes peuvent être appliquées pour ce contrôle :

— la méthode de mesure de l'écartement,

— la méthode de mesure de la différence de l'écartement.

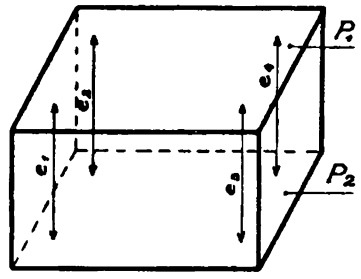


Fig 44 - *Les deux surfaces planes P_1 et P_2 sont parallèles si l'épaisseur est constante.*

A. Mesure de l'écartement

Cette mesure peut s'effectuer au pied à coulisse ou avec tout autre instrument à dimension variable. Le contrôle optimum est assuré par des prises de mesure en plusieurs points.

Ex. : La pièce parallélépipédique (fig. 44) doit être mesurée aux 4 coins au moins. Si les 4 mesures e_1, e_2, e_3, e_4 sont égales, on peut en conclure que les deux plans P_1 et P_2 sont parallèles.

B. Mesure de la différence de l'écartement

Il n'est pas nécessaire de connaître l'écartement des deux plans pour contrôler leur parallélisme ; il suffit de comparer les distances e_1, e_2, e_3, e_4. S'il n'y a pas de différence entre ces cotes, les deux plans sont parallèles.

Cette méthode est justificative de l'emploi du comparateur à cadran puisqu'il permet la mesure des erreurs. (Revoir 5e leçon.)

Sur un marbre sont posés la pièce à vérifier et le comparateur monté sur son support (fig. 45). La touche est amenée en contact avec la pièce, le zéro du cadran mis en regard de la pointe de l'aiguille et la pièce est promenée sous la touche. Du repos ou des mouvements de l'aiguille, on conclut qu'il y a ou qu'il n'y a pas parallélisme.

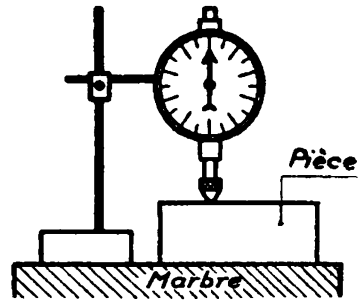


Fig 45_ *Vérification du parallélisme à l'aide du comparateur à cadran*

III. — CRITIQUE DES DEUX MÉTHODES

La méthode de mesure de la différence d'écartement au comparateur est plus rapide et surtout plus précise parce que :

— le palpeur décèle plus facilement les écarts de parallélisme que les becs du pied à coulisse, car il ne porte que sur un point;

— le comparateur élimine les erreurs de lecture; en outre il assure l'appréciation du $\frac{1}{100}$ de *mm*.

— un parallélisme étant donné, comme une cote, avec une tolérance de fabrication, le comparateur permet de vérifier si la tolérance est respectée.

CONTROLE ET MESURE DES ANGLES

I. — GÉOMÉTRIE

DEFINITION. — Un **angle** (fig. 46) est la portion de plan comprise entre deux demi-droites concourantes.

Un **angle dièdre** (fig. 47) est l'espace compris entre deux demi-plans issus d'une même droite.

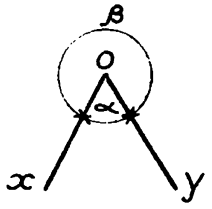


Fig 46_ *Les deux demi-droites Ox et Oy qui se rencontrent en O déterminent les angles α et β.*

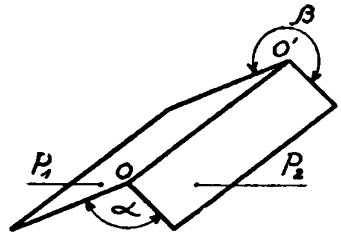


Fig 47_ *Les deux demi-plans P1 et P2 issus de la droite OO' déterminent les dièdres α et β.*

Unité de mesure des angles. — L'unité de mesure la plus couramment employée est le degré (°). Le degré est la valeur d'un angle au centre qui intercepte un arc égal à $\frac{1}{360}$ de la circonférence.

Les sous-multiples du degré sont la minute sexagésimale et la seconde sexagésimale. Une minute (') vaut $\frac{1}{60}$ de degré et une seconde ('') vaut $\frac{1}{60}$ de minute.

L'angle adopté comme angle étalon est l'**angle droit.** Un angle droit vaut 90°.

Pour contrôler un angle on peut employer un calibre d'angle ou un rapporteur d'angle.

II. — CONTROLE AU CALIBRE D'ANGLE

A. Calibre d'angle

Si, dans une plaque d'acier (fig. 48) de 2 à 4 *mm* d'épaisseur, on usine un angle de valeur égale à l'angle α à contrôler, on obtient un **calibre d'angle.**

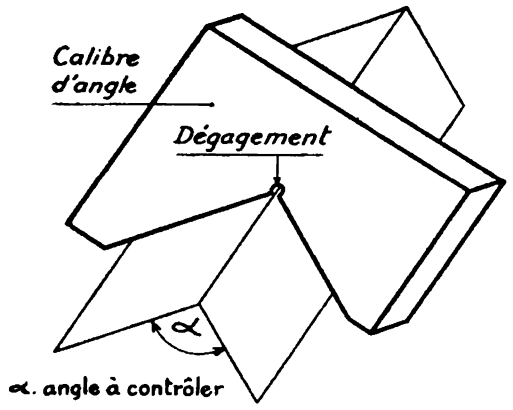


Fig 48 - *L'angle du calibre a même valeur que l'angle à contrôler.*

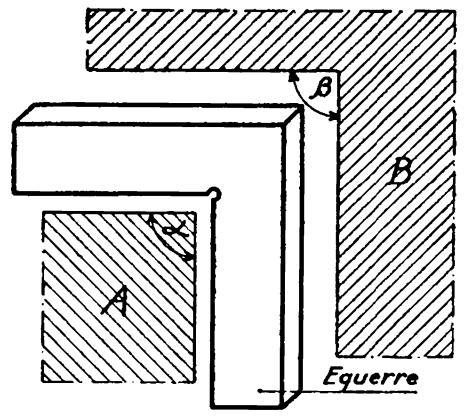


Fig 49 - *L'équerre permet le contrôle de l'angle sortant α de la pièce A et de l'angle rentrant β de la pièce B .*

On donne le nom d'**équerre** (fig. 49) à un calibre d'angle qui mesure 90°. Chaque branche de l'équerre a ses champs parfaitement plans, parallèles et perpendiculaires aux faces. Elle permet donc de contrôler les angles *sortants* (pièce A) par ses champs intérieurs et les angles *rentrants* (pièce B) par ses champs extérieurs.

Lorsque l'ouverture des branches mesure 120° ou 135°, l'équerre s'appelle **équerre à 120°** ou à 6 pans, **équerre à 135°** ou à 8 pans.

Le sommet de l'angle intérieur d'un calibre est dégagé pour permettre une portée convenable de ses champs sur les faces du dièdre à vérifier. Ce dégagement facilite en outre l'usinage du calibre.

De même que les règles, les équerres sont trempées puis rectifiées.

B. Emploi du calibre d'angle

Appuyer d'abord un champ du calibre contre une face du dièdre (fig. 50) de façon que la face du calibre forme, avec l'arête du dièdre, un angle de 90°.

— Faire glisser ensuite le calibre jusqu'au moment où la 2e branche s'appuie sur

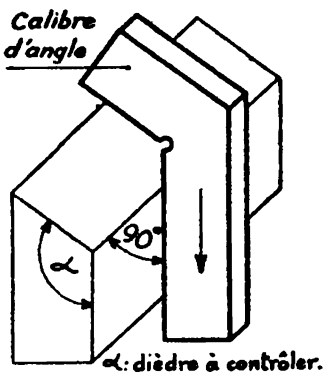


Fig 50 - *Emploi du calibre d'angle.*

l'autre face du dièdre. Si aucun *jour* n'est visible entre branche et face, l'angle à contrôler est exact.

Remarque importante. — Admettons (fig. 51, en 1) un calibre en parfaite concordance avec l'angle à vérifier.

Faisons (en 2) pivoter le calibre autour du point P : l'angle de 90°, fait primitivement par la face du calibre et l'arête du dièdre augmente. Il est bien évident que le sommet S de l'angle du calibre s'élève pour arriver en S′ et que le côté PS vient en PS′. Il n'y a plus concordance entre PS et PS′ (en 3) et cependant la valeur du calibre n'a pas changé.

Donc, si la valeur de l'angle de positionnement du calibre (angle fait par la face du calibre et l'arête du dièdre) n'est pas égale à 90°, le contrôle est erroné.

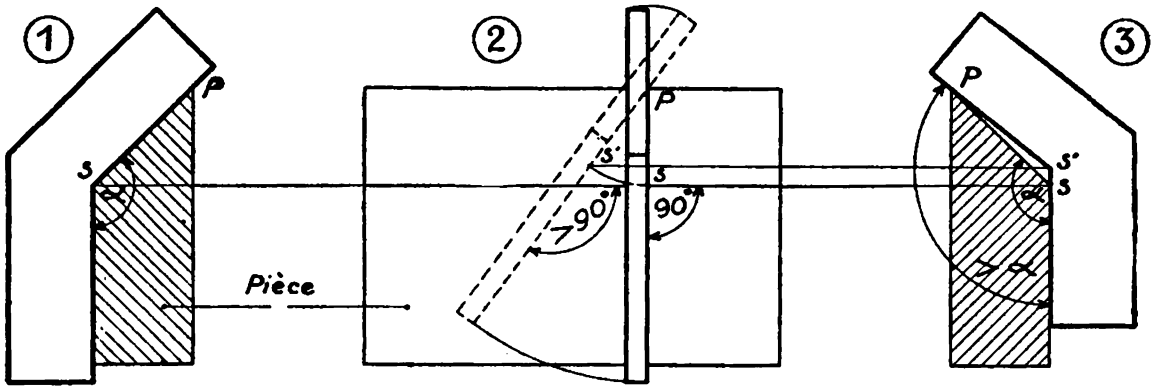


Fig 51 - *Variation de l'angle construit α suivant l'angle de positionnement du calibre.*

Exception. — Quand l'angle α du calibre est égal à 90°, il suffit que l'une de ses branches soit perpendiculaire à l'arête du dièdre pour que le calibre s'applique parfaitement sur les deux faces du dièdre de 90°. Cependant il vaut mieux, comme dans le cas général, assurer la perpendicularité des deux branches du calibre avec l'arête du dièdre.

III. — CONTROLE AU RAPPORTEUR D'ANGLE

Un rapporteur d'angle (fig. 52) est constitué par une couronne, graduée en degrés, qui porte une réglette coulissante. A l'intérieur de la couronne peut pivoter un disque muni d'un vernier et d'une branche rectiligne.

Par rotation du disque, on fait varier l'angle α formé par la branche et la réglette. La valeur de l'angle est donnée par le vernier.

Le rapporteur est donc un instrument de mesure des angles à dimension variable.

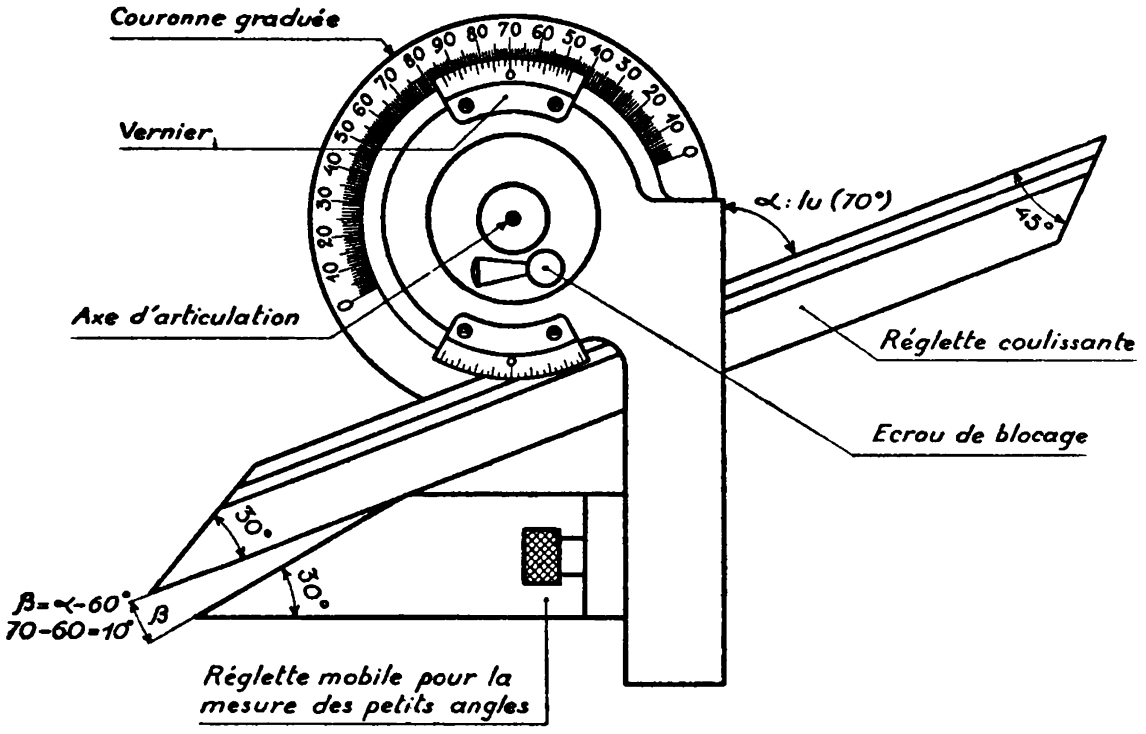


Fig 52 _ *Rapporteur d'angle avec vernier au $\frac{1}{12}$ de degré soit 5'*

A. Principe du vernier au 1/12

Un arc de 23° est divisé en 12 parties égales (fig. 53). Chaque division du vernier vaut donc $\frac{23}{12}$ de degré.

Lorsque les deux zéros sont en concordance, il y a entre le 2e degré et la 1re division du vernier $\frac{24}{12} - \frac{23}{12} = \frac{1}{12}$ de degré ou 5', entre le 4e degré et la 2e division du vernier $\frac{48}{12} - \frac{46}{12} = \frac{2}{12}$ de degré ou 10' ... et ainsi de suite. C'est pourquoi toutes les 3 divisions du vernier sont marquées 15 - 30 - 45 - 60 minutes.

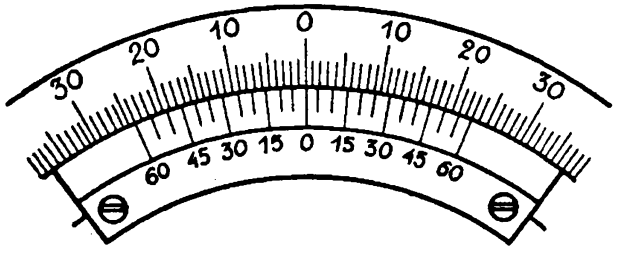


Fig 53 _ *Vernier d'angle au $\frac{1}{12}$*

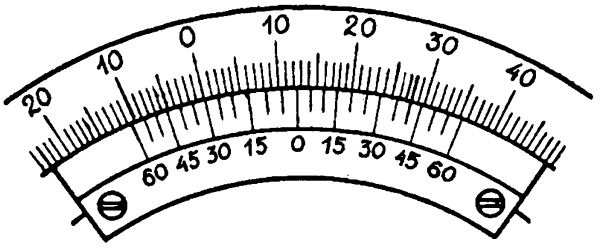


Fig 54 _ *Lecture : 12°40'*

Exemple de lecture. — Le zéro du vernier est entre 12° et 13° (fig. 54). La division 8 du vernier est en regard d'une division de la couronne graduée. On lit alors :

$$12° + [30' + (5' \times 2)] = 12° 40'.$$

B. Emploi du rapporteur d'angle

On peut :

— soit régler le rapporteur à la valeur de l'angle à vérifier; le rapporteur est alors comparable à un calibre d'angle;

— soit manœuvrer les branches du rapporteur pour qu'elles embrassent exactement l'angle à vérifier; dans ce cas on mesure le dièdre construit.

Le positionnement du rapporteur sur la pièce se fait suivant les mêmes règles que celles exposées pour l'emploi du calibre d'angle.

Résumé

A. — CONTROLE DU PARALLÉLISME DE DEUX PLANS

Deux plans sont parallèles quand tous les points de l'un sont équidistants de l'autre.

Le parallélisme de deux plans peut être contrôlé par l'une des deux méthodes suivantes :

a) *Méthode de la mesure de l'écartement.* — Au moyen d'un instrument à dimension variable on mesure la distance d'écartement des deux plans en plusieurs points. Si la mesure est constante, les deux plans sont parallèles.

b) *Méthode de la mesure de la différence d'écartement.* — A l'aide du comparateur et du marbre, on recherche, en promenant la pièce sous la touche du comparateur, s'il y a des différences d'épaisseur. Les différences sont constatées par les déplacements de l'aiguille.

c) *Critique des deux procédés.* — Le contrôle du parallélisme au comparateur est plus rapide et plus précis parce que :

— **le palpeur décèle plus facilement les erreurs car il touche la surface en un point tandis que les becs du pied à coulisse par exemple s'appuient sur une surface;**

— **une mesure prise au comparateur est peu sujette à des erreurs de lecture;**

— **le comparateur indique directement si la tolérance de parallélisme est respectée.**

B. — CONTROLE ET MESURE DES ANGLES

Un *angle* est la portion de plan comprise entre deux demi-droites concourantes.

Un *angle dièdre* est l'espace compris entre deux demi-plans issus d'une même droite.

L'unité de mesure des angles est le *degré* (°). Les sous-multiples sont :

— **la *minute sexagésimale* (′) qui vaut $\frac{1}{60}$ de degré,**

— **la *seconde sexagésimale* (″) qui vaut $\frac{1}{60}$ de minute.**

Le contrôle d'un angle peut être effectué au calibre d'angle ou au rapporteur d'angle.

a) ***Calibre d'angle.*** **— Un *calibre d'angle* est une plaque d'acier dans laquelle on a usiné un angle égal à l'angle à vérifier.**

Une *équerre* est un calibre d'angle qui mesure 90°.

Lorsque le calibre a une ouverture de 120° ou de 135° on l'appelle *équerre à 120°* ou *équerre à 135°*.

b) ***Rapporteur d'angle.*** **— C'est un instrument de mesure des angles à dimension variable. Un vernier au $\frac{1}{12}$ de degré permet la mesure avec une approximation de 5′.**

Le rapporteur peut être encore utilisé comme calibre d'angle : dans ce cas il est réglé à une position déterminée par la valeur de l'angle à contrôler.

c) ***Précautions à prendre pour le contrôle des angles.*** **— La position du calibre, ou du rapporteur, par rapport à l'arête du dièdre à vérifier, a une grande importance sur le résultat du contrôle. Pour que le contrôle soit exact, il faut que les faces de l'instrument fassent un angle de 90° avec l'arête du dièdre.**

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE ÉLÉMENTAIRE DES PRINCIPALES MATIÈRES PREMIÈRES

Propriétés générales des métaux.

Caractéristiques des matériaux.

Étude élémentaire des principaux métaux et alliages utilisés en construction mécanique.

Étude élémentaire des traitements thermiques.

ÉTUDE ÉLÉMENTAIRE DES PRINCIPALES MATIÈRES PREMIÈRES

On appelle **matières premières** celles qui arrivent *brutes* dans une usine pour y être façonnées et en sortir sous forme d'objets utilisables.

Les matières premières, ou **matériaux**, qui entrent dans la construction mécanique sont le plus souvent des métaux.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MÉTAUX

Les métaux ne se prêtent pas tous également à la construction mécanique. Il convient de rechercher les propriétés qui les rendent aptes :

— à la fabrication commode des pièces,

— à la fonction parfaite des pièces.

I. — PROPRIÉTÉS LIÉES A LA FABRICATION DES PIÈCES

Ce sont : la fusibilité, la fluidité, la malléabilité, la ductilité et la soudabilité.

A. Fusibilité

La fusibilité est la propriété qui permet aux métaux de fondre sous l'influence de la chaleur. Elle autorise l'élaboration des pièces par fonderie (moulage).

B. Fluidité

Lorsqu'un métal fondu n'est pas assez fluide, il n'épouse pas parfaitement la forme de l'empreinte du moule dans lequel il est coulé. Plus la forme de l'empreinte est compliquée, plus la fluidité doit être grande.

Cette propriété est donc importante pour le moulage. Parfois, on augmente la fluidité par adjonction d'un corps étranger.

Ex. : le silicium augmente la fluidité de la fonte.

C. Malléabilité

C'est la propriété qui confère à certains métaux l'avantage d'être réduits en feuilles.

La malléabilité à chaud (métal chauffé au rouge) est recherchée pour le **laminage** (fig. 55) et le forgeage, la malléabilité à froid pour la chaudronnerie.

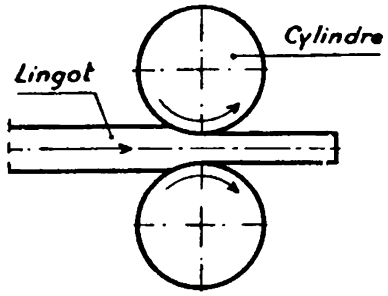


Fig 55. *Laminage. Le lingot, chauffé au rouge, est écrasé entre les cylindres.*

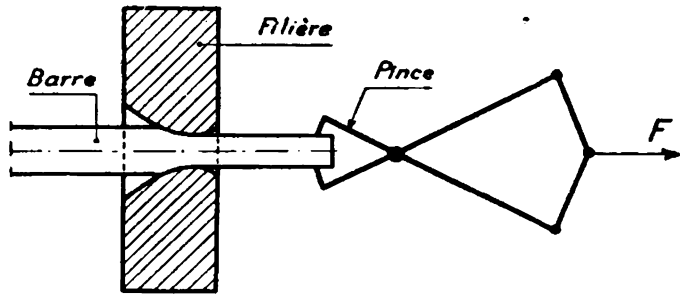


Fig 56. *Tréfilage. La barre est étirée à froid en passant dans la filière. La ténacité du métal lui permet de résister à l'effort de traction F.*

D. Ductilité

C'est la propriété qui confère à certains métaux l'avantage d'une réduction de section par passage à froid dans une **filière** (fig. 56). Le métal est **étiré** ou **tréfilé.**

C'est en vertu de la ductilité de certains métaux que l'on peut obtenir des fils, des barres, des tubes, qui présentent un bel aspect de surface et dont les cotes sont respectées avec une grande régularité.

E. Soudabilité

Cette propriété confère aux molécules de certains métaux l'avantage de se souder entre elles à chaud. Elle permet l'assemblage non démontable des différents éléments d'un organe.

On distingue :

— la soudure au feu de forge, obtenue par chauffage du métal jusqu'à l'état pâteux suivi d'un martelage énergique ;

— la soudure autogène, réalisée par fusion des parties en contact.

II. — PROPRIÉTÉS LIÉES A LA FONCTION DES PIÈCES

Ce sont : la ténacité, l'élasticité, la dureté, la résilience, la densité, la conductibilité thermique et électrique et la dilatabilité.

A. Ténacité

La ténacité est la résistance qu'opposent les corps à leur rupture sous un effort de **déformation lente** : traction ou extension (fig. 57), compression (fig. 58), cisaillement (fig. 59), torsion (fig. 60), flexion (fig. 61 et 62).

Il est bien évident que les organes mécaniques ne doivent pas se rompre sous les efforts qu'ils supportent.

Parmi les métaux, les aciers sont ceux qui ont la plus grande ténacité. C'est pourquoi ils sont choisis chaque fois que l'organe transmet ou reçoit de gros efforts.

Ex. : arbres de transmission, roues dentées...

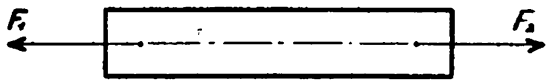


Fig 57 – *La force F_1, égale et directement opposée à la force F_2, tend à allonger la pièce par traction, ou extension.*

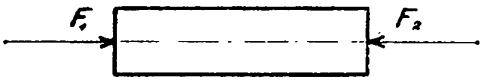


Fig 58 – *La force F_1, égale et directement opposée à la force F_2, tend à raccourcir la pièce par compression.*

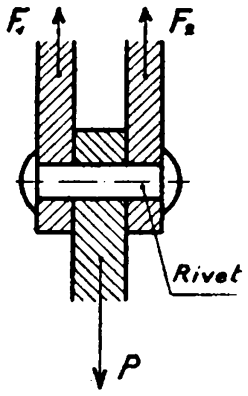


Fig 59 – *Le rivet tend à être cisaillé sous l'effet du poids P équilibré par les deux forces F_1 et F_2*

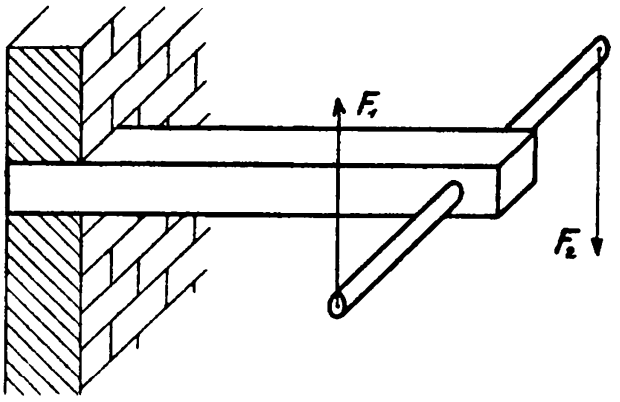


Fig 60 – *La barre, encastrée à une extrémité, est soumise à l'effort du couple F_1 F_2. Les fibres tendent à prendre la forme d'une hélice par effet de torsion.*

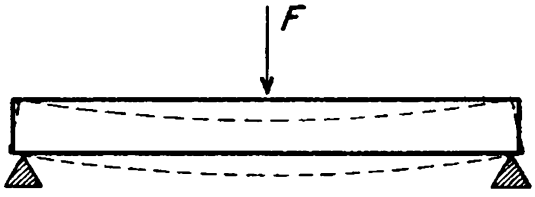


Fig 61 – *La poutre est supportée à ses extrémités. Sous l'effet de la force F, elle travaille à la flexion.*

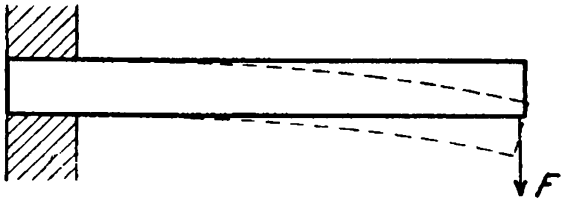


Fig 62 – *La poutre est encastrée à une extrémité. Sous l'effet de la force F, elle travaille à la flexion.*

B. Élasticité.

C'est la propriété que possèdent certains métaux de reprendre leur forme initiale après avoir subi une déformation. Cette propriété est mise à profit pour la fabrication des ressorts.

Les aciers durs, *trempés et revenus*, et certains aciers spéciaux ont une bonne élasticité.

C. Dureté.

C'est la résistance que les corps opposent à la pénétration d'autres corps (fig. 63). Un corps est plus dur qu'un autre lorsqu'il peut le rayer.

Ex. : le diamant est plus dur que le verre parce qu'il le raye.

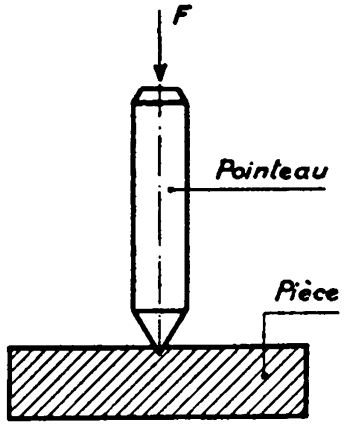


Fig 63 – *La pièce, en raison de sa dureté, résiste à la pénétration du pointeau provoquée par l'effort F.*

La dureté est recherchée :

— pour les outils de coupe (acier trempé) afin qu'ils puissent tailler le métal à usiner ;

— pour les outils de choc (acier trempé) afin qu'ils ne s'écrasent pas ;

— pour les pièces frottantes (acier, bronze) en vue d'en diminuer l'usure.

D. Résilience

La résilience est la résistance opposée par un corps aux chocs ou aux efforts brusques.

Un métal peu résilient est fragile.

Ex. : la fonte.

Les aciers au contraire, très résilients, sont employés pour les pièces qui subissent des chocs ou des efforts brusques (outillage de forge, vilebrequins de moteurs...).

E. Densité

C'est le rapport entre le poids d'un certain volume de métal et le poids d'un même volume d'eau à 4° C.

Les métaux à faible densité, sous la forme d'alliages légers, entrent dans les constructions où le *poids mort* est à réduire au maximum.

Les métaux à forte densité sont utilisés en vue de la stabilité pour les bâtis de machines, pour les contre-poids, les volants...

F. Conductibilité thermique

Tous les métaux sont bons conducteurs de la chaleur. Les meilleurs d'entre eux sont utilisés lorsque la chaleur doit se diffuser ou se disperser rapidement.

Ex. : le cuivre pour les tubes de chaudières, les alliages d'aluminium pour les culasses de moteurs à explosion.

Les corps mauvais conducteurs de la chaleur (bois, liège, amiante, laine de verre) sont utilisés pour éviter les déperditions de la chaleur. Ce sont des **corps calorifuges.**

G. Conductibilité électrique

Les métaux qui opposent une faible résistance au passage du courant électrique sont dits **bons conducteurs** de l'électricité.

Ex. : le cuivre, l'aluminium, qui sont utilisés pour la fabrication des conducteurs électriques.

Les métaux qui opposent une grande résistance au passage du courant électrique sont dits **mauvais conducteurs** de l'électricité.

Ex. : le nickel-chrome, les aciers au nickel, qui sont employés pour la fabrication des rhéostats.

Les corps qui ne se laissent pas traverser par l'électricité sont appelés **isolants.**

Ex. : le caoutchouc, la bakélite, le verre, l'ébonite, qui servent à isoler les conducteurs électriques.

H. Dilatabilité

C'est la propriété qui traduit la variation des dimensions des métaux sous l'action de la chaleur. La dilatabilité est mise à profit le plus souvent pour réaliser le **frettage** (fig. 64).

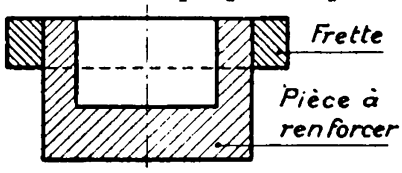


FIG 64 – *Pièce frettée.*

Une bague, ou **frette,** d'un diamètre intérieur plus faible que le diamètre extérieur de la pièce à renforcer, est chauffée et emmanchée sur la pièce. Après refroidissement, il y a serrage efficace.

Résumé

On appelle *matières premières,* les matières *brutes* qui doivent être façonnées pour les transformer en objets finis.

Pour l'industrie mécanique, les matières premières, ou matériaux, les plus utilisés sont les métaux.

Les différentes propriétés des métaux imposent le choix du procédé de fabrication des pièces ou le choix du métal en vue de leur fonction.

Propriétés liées à la fabrication des pièces.

***La fusibilité et la fluidité* pour la fonderie (moulage).**

***La malléabilité* pour le forgeage, le laminage et le chaudronnage.**

***La ductilité* pour le tréfilage et l'étirage.**

***La soudabilité* pour la liaison permanente de plusieurs éléments.**

Propriétés liées à la fonction des pièces.

***La ténacité* pour les organes soumis à de grands efforts.**

***L'élasticité* pour des pièces devant subir des déformations passagères.**

***La dureté* pour les outils de coupe, les outils de choc et les pièces frottantes.**

***La résilience* pour des pièces soumises à des chocs ou à des efforts brusques.**

***La densité* dans la recherche des organes lourds ou légers.**

***La conductibilité thermique* pour les appareils qui doivent propager la chaleur ou empêcher sa déperdition.**

***La conductibilité électrique* pour le transport du courant électrique ou l'isolement des conducteurs électriques.**

***La dilatabilité* pour réaliser le frettage.**

NOTIONS SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX

Un matériau ne peut être utilisé dans de bonnes conditions que si l'on connaît ses propriétés avec précision.

Dans le cas contraire, on risque de concevoir :

— des organes trop lourds et de perdre de la matière et de la main-d'œuvre en aboutissant à un prix de revient trop élevé ;

— des organes trop faibles qui ne résisteront pas aux efforts imposés, se briseront ou s'useront trop rapidement.

Les **propriétés mécaniques** des matériaux sont définies par des **caractéristiques numériques** déterminées expérimentalement.

ESSAI DE TRACTION

Considérons la figure 65.

1 Un fil d'aluminium écroui de 2,5 *mm* de diamètre est suspendu à une poutre par une de ses extrémités. L'autre extrémité supporte un plateau destiné à recevoir des charges (1).

La longueur de fil libre est d'environ 2 *m*. A une distance d'un mètre sont tracés deux repères r et r' (traits fins tracés au crayon à bille par exemple). La partie médiane du fil est polie à la toile d'émeri N° 00.

Le plateau étant vide, on a $P = O$ et $L = 1$ *m*.

2 Mettons une charge P_1 de 30 *kg* dans le plateau et mesurons la distance L_1 entre repères ; soit $L_1 = 1{,}0015$ *m*.

3 Enlevons la charge, mesurons la distance entre repères : nous constatons qu'elle est de 1 *m*.

Il y a donc eu **allongement** du fil sous l'effort de traction P_1, puis, après suppression de l'effort, cet allongement a disparu. On dit que l'allongement $L_1 - L = 0{,}0015$ *m* est un **allongement élastique** et que la déformation subie par le fil est une **déformation élastique.**

4 Sous une charge $P_2 = 45$ *kg* $= P_1 \times 1{,}5$ nous constatons qu'il y a un allongement $L_2 - L = 0{,}0026$ *m* soit environ $0{,}0015 \times 1{,}5$, et que cet allongement est encore un allongement élastique.

Pour une charge $P_1 \times 2 = 30 \times 2 = 60$ *kg* nous avons encore un allongement élastique, sensiblement double du premier.

1) Voir appendice.

5 Chargeons le plateau de 66 *kg*, mesurons la distance L_3 entre repères soit $L_3 = 1{,}0035$ *m*.

6 Enlevons la charge, mesurons L_4 ; nous trouvons 1,003 *m*. Il y a cette fois un allongement qui subsiste après enlèvement de la charge : c'est un **allongement permanent ; le fil a maintenant une déformation permanente.**

En examinant attentivement le fil, nous remarquons à la partie médiane une disparition partielle du poli du fil, et une diminution du diamètre du fil au même endroit est décelée par mesure au palmer : il y a **striction**, c'est-à-dire diminution de la section.

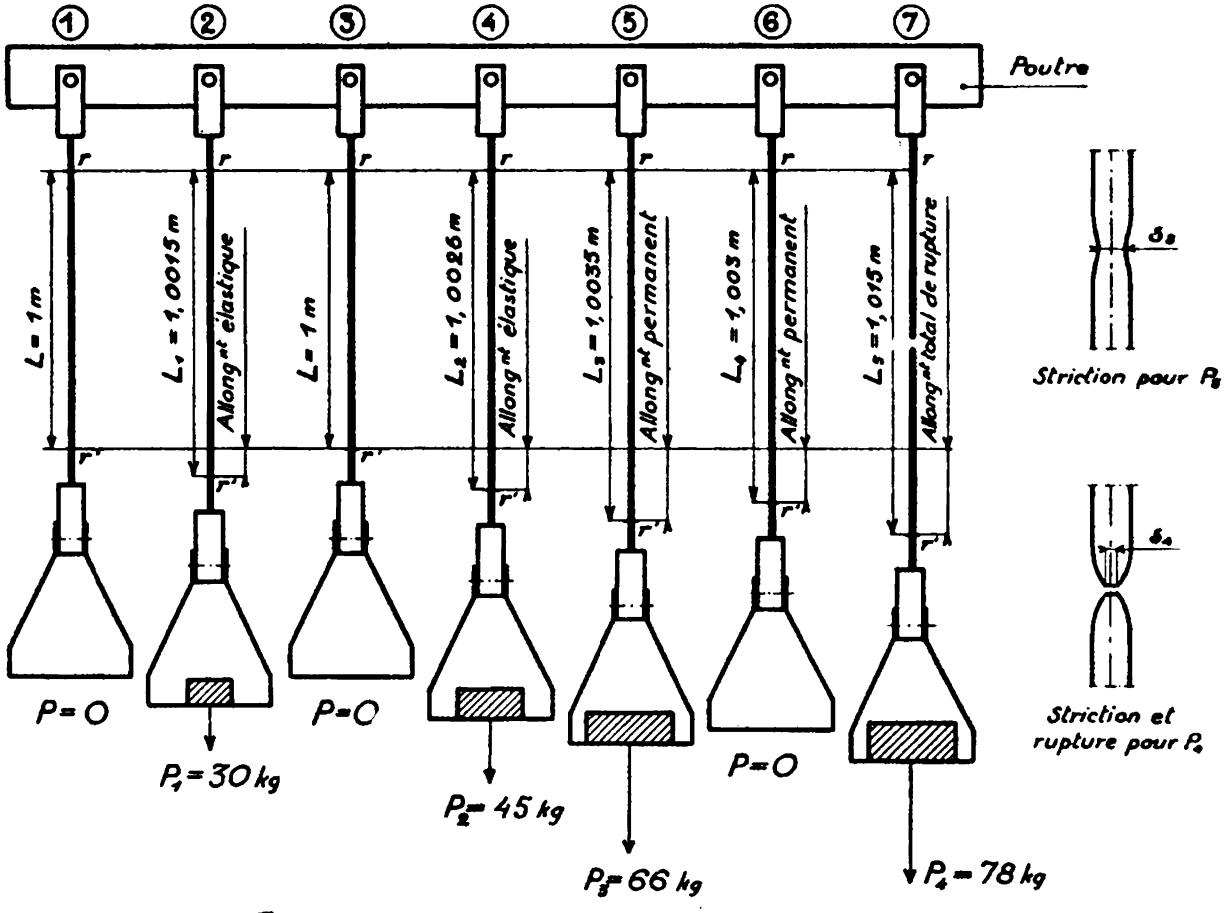


Fig 65. *Résultats d'un essai de traction.*

7 Mettons une charge de 70 *kg* dans le plateau puis augmentons-la progressivement par apport d'un demi-kilogramme à la fois.

Après chaque renfort de la charge on constate une augmentation de l'allongement permanent et, par mesure au palmer, une augmentation de la striction.

Finalement, sous une charge de 78 *kg*, le fil est rompu et le diamètre à la striction est d'environ 1 *mm*. L'effort de 78 *kg* est dit **effort de rupture** ou **charge de rupture.**

Rapprochons les deux parties du fil, mesurons la distance entre repères : $L_5 = 1{,}015$ *m*. L'allongement $L_5 - L = 1{,}015 - 1 = 0{,}015$ *m* est l'**allongement total de rupture.**

La résistance du fil à la rupture (Rr)e, ou **résistance à la rupture à l'extension,** qui s'exprime en *kg par mm²* de section initiale est

$$\frac{P\ kg}{S\ mm^2} = \frac{78}{4,8} = 15\ kg/mm^2.$$

Cette expérience nous montre qu'un métal soumis à un effort d'extension :

— **subit des allongements élastiques proportionnels aux charges tant que la limite élastique du métal n'est pas atteinte;**
— **subit des allongements permanents lorsque la limite élastique est dépassée;**
— **cède par rupture lorsque la charge de rupture est atteinte;**
— **présente une striction à l'endroit où se produit la rupture.**

Remarques. — 1° Pour la même expérience conduite sur un fil de 1,5 *mm* de diamètre, on a constaté la rupture sous un effort de 28 *kg* environ.

Comparons les deux sections initiales et les deux efforts de rupture :

Section du fil de 2,5 *mm* : $\frac{3,14 \times 2,5^2}{4} = 4,91\ mm^2$.

Section du fil de 1,5 *mm* : $\frac{3,14 \times 1,5^2}{4} = 1,76\ mm^2$.

Rapport entre les deux sections : $\frac{4,91}{1,76} = 2,79$.

Rapport entre les deux efforts de rupture : $\frac{78}{28} = 2,78$.

Les deux rapports sont sensiblement égaux. Ceci s'exprime en disant qu'**il y a proportionnalité de l'effort de rupture à la section initiale de l'éprouvette.**

2° La résistance à la rupture d'un métal est mesurée par le même nombre que la charge nécessaire pour rompre un fil de 1 mm^2 de section de ce même métal.

3° Il existe des machines d'essai de traction à l'aide desquelles on détermine les caractéristiques précédentes avec précision.

Résumé

Les propriétés mécaniques d'un matériau sont définies par des caractéristiques numériques déterminées expérimentalement.

ESSAI DE TRACTION

Par une expérience de traction sur un fil métallique, on peut déterminer les caractéristiques suivantes du métal constituant le fil :

a) *Allongements élastiques.* — Ce sont des allongements passagers. Ils sont *proportionnels aux charges.* Dès que les charges qui les ont provoqués cessent, ils disparaissent.

b) *Allongements permanents.* — Les allongements permanents demeurent malgré la cessation des efforts auxquels ils sont dus.

c) *Charge de rupture.* — La charge de rupture, ou effort de rupture, est l'effort nécessaire pour rompre le fil. Elle est *proportionnelle à la section initiale.*

d) *Allongement total de rupture.* — C'est l'allongement subi par le fil immédiatement avant la rupture.

e) *Striction.* — Cést une diminution de la section initiale. Elle se manifeste en un endroit quelconque dès que les déformations deviennent permanentes. La rupture se produit toujours à la striction.

f) *Résistance à la rupture.* — La résistance à la rupture par traction (Rr)e, s'exprime en *kg par mm²* (*kg/mm²*). Elle est égale à l'effort de rupture divisé par la section initiale en *mm²* :

$$\text{(Rr)e } kg/mm^2 = \frac{P\ kg}{S\ mm^2}.$$

La résistance à la rupture est mesurée par le même nombre que l'effort nécessaire pour rompre un fil de 1 *mm²* de section.

APPENDICE

La réussite de l'expérience précédente dépend du mode de suspension du fil à la poutre et du plateau au fil.

Rejeter la ligature simple (fig. a) qui consiste à enrouler le fil autour d'une tige. L'enroulement entraîne un écrouissage du métal et une striction du fil, provoquant la rupture à cet endroit.

La ligature par pincement du fil entre deux plaques métalliques portant une rainure demi-circulaire (fig. b) ne donne pas toujours satisfaction. Le serrage des deux plaques écrase le fil et la rupture a lieu le plus souvent au débouché du fil d'entre les plaques.

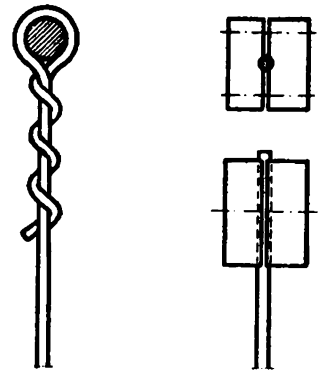


Fig a. Fig b.

Nous avons réalisé plusieurs expériences avec le mode d'attache suivant :

Le fil est serré, à chaque extrémité, entre deux sabots de bois (fig. c) coupés suivant une ligne sineuse. Sur chaque face de serrage est collée une bande de caoutchouc de 2 *mm* d'épaisseur environ.

L'effort de serrage provoque une adhérence suffisante pour empêcher le glissement du fil. On peut augmenter la sécurité du dispositif par rabattement des extrémités du fil.

Grâce aux bandes de caoutchouc, le fil n'est pas écrasé et la rupture se produit toujours à l'endroit médian poli.

Le support est constitué par un fer en U percé sur lequel s'appuient normalement les sabots supérieurs.

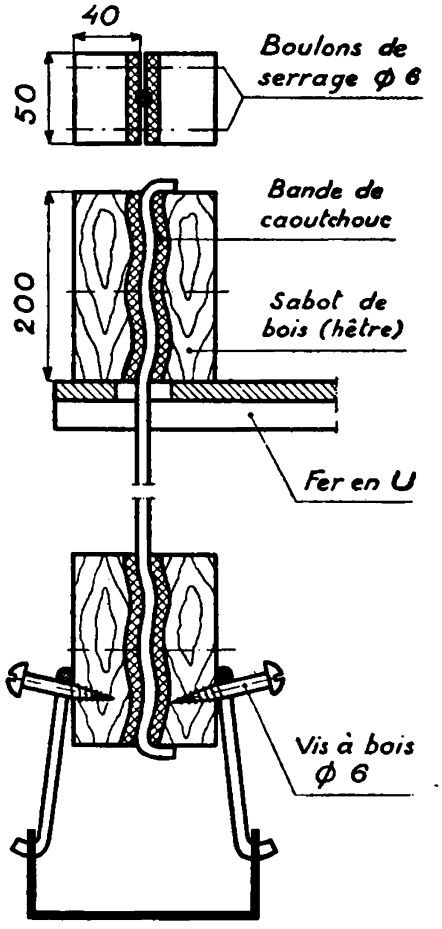


Fig c.

Les expériences précédentes peuvent être pratiquées sur deux limes usagées de mêmes dimensions dont l'une aura été préalablement *recuite*. On vérifierait alors que l'acier dur *trempé* est plus fragile que l'acier dur *non trempé*.

LE PHÉNOMÈNE DE L'ÉCROUISSAGE

Lorsqu'un métal subit un *travail mécanique* à froid (tréfilage, chaudronnage), il se produit une modification de ses propriétés.

L'expérience suivante met en évidence cette modification :

1° Une bande, prise dans du *feuillard* (acier doux) de 20 *mm* × 2 *mm*, est pliée à l'étau suivant un angle de 90° (fig. 71) dont le sommet intérieur est vif.

On constate que l'extérieur de la partie coudée ne présente aucune déchirure.

2° Une nouvelle bande de même feuillard est martelée sur une enclume, puis subit le même essai de pliage (fig. 72). On constate alors

— soit une rupture totale de la bande à l'endroit du pliage ;

— soit une rupture partielle (criques ou gerçures) sur l'extérieur de la partie coudée.

Fig 71.

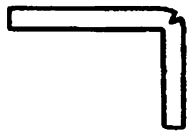


Fig 72.

C'est l'écrouissage du métal, engendré par le martelage, qui est cause de la rupture.

L'écrouissage est donc un phénomène qui rend un métal plus fragile, plus *cassant*, parce qu'il diminue son élasticité et augmente sa dureté.

Résumé

La *dureté* est la résistance qu'un corps oppose à la pénétration d'un autre corps.

La dureté d'un métal peut être mesurée par essai à la bille.

PRINCIPE DE L'ESSAI A LA BILLE. — Sur une bille en acier trempé, posée sur le métal à essayer, on exerce une pression. La bille détermine une empreinte en forme de calotte sphérique dont le diamètre dans le plan d'affleurement est d'autant plus petit que le métal est plus dur.

ESSAI A LA BILLE DE BRINELL. — La bille, d'un diamètre de 10 *mm*, reçoit une pression constante de 3 000 *kg* pour les métaux ferreux.

Le rapport de la pression P *kg* à la surface S *mm*^{2} de la calotte, indique la caractéristique de dureté. C'est un nombre abstrait, appelé *nombre de Brinell* (Δ ou H B).

Le diamètre de l'empreinte est mesuré à la règle *Le Chatelier*.

Des tableaux donnent directement, pour des diamètres variant par dixième de millimètre, le *nombre de Brinell* et la résistance à la rupture à l'extension correspondante.

La dureté et la tenacité sont deux propriétés qui varient dans le même sens.

NOTION DE LA RESISTANCE AU CHOC. — Un corps qui reçoit un choc peut

— soit être déformé mais non brisé ;

— soit être déformé et ensuite brisé.

Lorsque deux métaux reçoivent, dans les mêmes conditions, un choc de même intensité, le métal qui est brisé est moins résilient, plus fragile, que celui qui accuse une déformation sans rupture.

La fonte est moins résiliente que l'acier doux, l'acier dur non trempé est moins fragile que l'acier dur trempé.

LE PHENOMENE DE L'ECROUISSAGE. — Quelques *travaux mécaniques* **(tréfilage, chaudronnage) modifient certaines propriétés de la plupart des métaux.**

Ainsi l'acier doux devient plus cassant par martelage à froid : il *s'écrouit*. Si on impose une déformation assez prononcée à de l'acier doux fortement écroui, il se rompt totalement ou partiellement.

***L'écrouissage* est un phénomène qui rend le métal plus fragile parce qu'il diminue son élasticité et augmente sa dureté.**

Des pages manquantes

Des pages manquantes

Les objets en cuivre pur les plus courants que nous distinguons, grâce à leur couleur rouge sont :

— des fils conducteurs de courant électrique qui peuvent être facilement pliés pour épouser des formes diverses;
— des tubes de chaudières, des radiateurs d'automobiles, des chaudrons, des pièces décoratives pour appartements et magasins.

Les propriétés du cuivre qui justifient ces emplois sont : la ductilité, la malléabilité, la bonne conductibilité de la chaleur et de l'électricité.

Le cuivre est mou, peu élastique, mais il s'écrouit rapidement et devient alors très cassant. D'une ténacité inférieure à celle de l'acier doux (Rr)e = 28 *kg/mm²*, il résiste bien au choc, se travaille facilement à l'outil de coupe et est susceptible de prendre un beau poli.

Sa densité est 8,8, son point de fusion 1 050°.

Alliages de cuivre

Les alliages courants de cuivre sont le bronze et le laiton.

1° Bronze

Le **bronze** est un alliage de cuivre et d'étain, de couleur jaune foncé.

Les pièces ou objets courants en bronze sont, par exemple :

— des coussinets dans lesquels tournent les broches ou les arbres des machines;
— des roues dentées engrenant avec une vis sans fin, comme dans le mécanisme de descente des perceuses à colonne;
— des robinets, des raccords de tuyaux d'arrosage;
— des statues ou des objets décoratifs;
— des cloches.

Ces différentes pièces sont obtenues par moulage.

Nous distinguerons trois catégories de bronzes :

a) **Bronzes mécaniques ordinaires.** — Cuivre 85 %, étain 15 %.

b) **Bronzes d'art.** — Ils contiennent 8 % d'étain et 8 à 20 % de zinc. Le zinc apporte la fluidité pour permettre un moulage parfait des sujets.

c) **Bronzes de cloches.** — Cuivre 75 à 80 %, étain 20 à 25 %.

Tous ces bronzes sont durs, peu résistants aux chocs. Ils ne sont ni malléables, ni ductiles, mais se travaillent bien à l'outil de coupe.

Leur résistance à la rupture à l'extension est de l'ordre de 35 *kg/mm²*, leur densité 8,6, leur point de fusion 900 à 1 000°.

2° Laiton

Le **laiton**, de couleur jaune clair, est un alliage de cuivre et de zinc. La teneur en zinc peut aller jusqu'à 40 %. Il est parfois appelé improprement *cuivre jaune*.

Le laiton n'entre pas dans la construction mécanique car il résiste peu à l'usure par frottement et sa tenacité est faible (Rr)e = 30 *kg/mm²*.

Les objets en laiton sont nombreux : vis, tubes, pièces d'appareillages électriques, de chauffage, de robinetterie, d'horlogerie, d'optique, de décoration.

Le laiton se prête bien à ces divers emplois parce qu'il est ductile, malléable, parce qu'il se travaille facilement à l'outil de coupe et peut prendre un beau poli.

Sa densité est 8 environ, il fond vers 900°.

Résumé

A. — LES METAUX FERREUX. — Les *métaux ferreux* sont des alliages dont le principal constituant, le *fer*, est allié à du *carbone*. Ils comprennent les fontes et les aciers.

a) *Fonte grise ou fonte mécanique. — La fonte grise* a une cassure à grains gris. Elle se moule bien, se travaille facilement à l'outil de coupe. Elle est fragile, peu élastique, non malléable et non ductile.

Densité 7,6, point de fusion 1 200°, teneur en carbone 3,5 à 4,5 % en poids.

b) *Fonte blanche.* — Sa cassure est à grains à facettes claires et brillantes. Elle est dure, cassante et se travaille difficilement à l'outil de coupe. On l'emploie pour le moulage de pièces ne devant pas subir d'usinage.

Point de fusion 1 150°, teneur en carbone 2,5 à 3,5 %.

c) *Acier doux.* — C'est un métal à grains fins gris. Il est ductile, malléable, résilient, tenace. L'acier doux se travaille facilement à l'outil de coupe. Il se soude à lui-même et s'écrouit par martelage à froid.

Densité 7,8, point de fusion 1 400°, teneur en carbone 0,05 à 0,35 %.

d) *Acier dur.* — L'acier dur est moins ductile, moins malléable, moins résilient que l'acier doux, mais il est plus dur, plus tenace et plus élastique. Teneur en carbone 0,6 à 1,5 %.

L'acier dur possède la remarquable propriété de *prendre la trempe.*

e) *Acier mi-dur.* — Cet acier, intermédiaire entre les précédents est plus résilient que l'acier dur et plus tenace que l'acier doux. Capable de *prendre la trempe*, il est très employé en construction mécanique.

Teneur en carbone 0,35 à 0,6 %.

B. — LES METAUX NON FERREUX. — Ils sont employés soit à l'état pur, soit sous forme d'alliages.

a) *Cuivre.* — Le cuivre est un métal rouge. C'est le meilleur conducteur de la chaleur et de l'électricité.

Densité 8,8, point de fusion 1 050°.

Il est très ductile, très malléable, mou, peu élastique ; sa ténacité est inférieure à celle de l'acier doux. Il se travaille bien à l'outil de coupe et est susceptible de prendre un beau poli.

b) *Bronze.* — Le bronze est un alliage de cuivre et d'étain, de couleur jaune foncé. Teneur en étain 8 à 25 %.

Tous les bronzes (mécanique, objets d'art, cloches) sont durs et cassants.

Ils ne sont ni malléables, ni ductiles, mais se travaillent bien à l'outil de coupe. Leur ténacité est voisine de celle de l'acier doux.

Densité 8,6, point de fusion 900°.

c) ***Laiton.*** **— Le laiton est un alliage de cuivre et de zinc, de couleur jaune clair. Teneur en zinc 30 à 40 %.**

Il est ductile, malléable, se travaille bien à l'outil de coupe et peut prendre un beau poli.

D'une ténacité assez faible, il entre peu dans la construction mécanique.

Densité 8, point de fusion 900° environ.

MÉTAUX NON FERREUX (Fin)

L'aluminium

L'aluminium est un métal moins ancien que le fer et le cuivre.

Par observation on se rend compte que l'aluminium n'entre pas dans la construction mécanique : sa ténacité est trop faible. L'expérience faite au cours de la 9e leçon nous a révélé une charge de rupture (Rr)e = 15 kg/mm^2, soit 2 à 3 fois plus petite que celle de l'acier doux.

Regardons une feuille d'aluminium; elle est de couleur blanche. Soupesons-la, puis soupesons une tôle d'acier doux de mêmes dimensions; la feuille d'aluminium nous surprend par sa légèreté.

Plions un fil d'aluminium de 2 *mm* de diamètre; le pliage est fait sans effort.

Observons un élève chaudronnier qui travaille de l'aluminium; il frappe de faibles coups de marteau et remplace parfois le marteau par un maillet, car ce métal est tendre.

Remarquons que l'on fabrique de plus en plus d'ustensiles de cuisine en aluminium et que ce métal est inoxydable.

Les propriétés de l'aluminium, tirées de ces observations sont les suivantes : c'est un métal blanc, léger, très bon conducteur de la chaleur. Il est tendre, peu élastique, peu tenace, très ductile et très malléable. Il s'écrouit moins rapidement que le cuivre et se prête très bien à l'emboutissage.

Sa densité est 2,5, son point de fusion 650°.

Alliages d'aluminium

C'est sous forme d'alliages que l'aluminium entre dans la fabrication de pièces mécaniques.

Ces alliages sont nombreux. Nous étudierons seulement le **duralumin** et l'**alpax ordinaire.**

1° **Duralumin.** — Il contient : aluminium 94,5 %, cuivre 4 % et une faible quantité de magnésium, de silicium et de manganèse.

C'est l'alliage qui présente le plus d'applications mécaniques. Sa grande ténacité (jusqu'à 55 kg/mm^2) et sa faible densité (2,7) le font employer dans la construction automobile, aéronautique et ferroviaire.

Le duralumin se chaudronne plus difficilement que l'aluminium; il est plus dur, plus élastique, moins malléable.

2° **Alpax ordinaire.** — Sa composition est la suivante : aluminium 87 %, silicium 13 %. Sa bonne résistance à la rupture (22 kg/mm^2) et sa grande fluidité le font employer pour des moulages difficiles (carters de moteurs, de machines).

L'alpax est classé dans les *alliages de fonderie* tandis que le duralumin fait partie des *alliages de forge et de laminage.*

Le zinc

Le *zinc* est un métal blanc bleuâtre inoxydable. Il est mou, peu résistant. Très cassant à froid, il devient malléable et ductile entre 150 et 200°.

Sa densité est 7, son point de fusion 415°.

Applications courantes du zinc :

— sous forme de feuilles, il sert à la confection des toîtures, des chéneaux;

— sous forme de revêtement, ou galvanisation, il protège les métaux ferreux de la *rouille*. Les tôles ondulées pour couverture, les lessiveuses, certains *fils de fer* et grillages sont galvanisés.

L'industrie mécanique utilise le zinc sous forme d'alliage avec le cuivre (laiton).

L'étain

Les objets en **étain** pur qu'il nous est possible d'observer sont les emballages pour le thé et quelques ustensiles de cuisine anciens.

L'étain, réduit en feuilles très minces du fait de sa très grande malléabilité, sert à protéger parce qu'il est inaltérable.

Son inaltérabilité et son grand pouvoir adhésif le font employer pour **l'étamage**, qui assure la protection des métaux ferreux. Le *fer blanc* (boîtes à conserves) est de l'acier doux étamé.

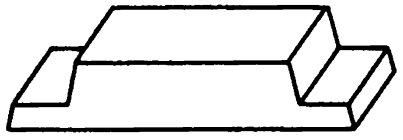


Fig 74 _ *Saumon d'étain.*

L'étain est le plus fusible de tous les métaux : il fond à 230°. Sa densité est 7,2.

L'étain brut est coulé en blocs appelés *saumons* (fig. 74). L'industrie mécanique l'emploie en alliage avec le cuivre (bronze).

Le plomb

Les objets en **plomb** que nous voyons à l'atelier sont :

— des mordaches employées pour éviter la détérioration des pièces usinées serrées en étau;

— des massettes destinées à chasser, sans les marquer, des pièces usinées;

— des tuyaux de canalisation d'eau et de gaz. Ces différents tuyaux sont coudés pour suivre les parois auxquelles ils sont fixés;

— les fils, ou fusibles, utilisés comme coupe-circuit d'un courant électrique;

— des récipients contenant de l'acide (eau à souder des électriciens et des chaudronniers).

Ces emplois du plomb sont justifiés parce qu'il est mou, non résistant, non élastique, insensible à l'écrouissage et malléable. Non ductile, le plomb est transformé en fil par *filage*; le plomb, chauffé presque à son point de fusion, est pressé fortement dans un cylindre percé d'un trou de diamètre égal à celui du fil à obtenir et sort par cet orifice (fig. 75).

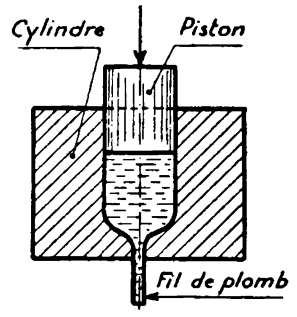


Fig 75 _ *Principe du filage du plomb.*

Inattaquable par les acides, il sert au revêtement intérieur des cuves à acides.

C'est un métal lourd, de densité 11,5. Il fond à basse température (330°) et se moule facilement.

Le plomb brut, comme l'étain, se présente en *saumons*.

Alliages plomb-étain

Les *soudures tendres*, les produits d'étamage, sont des alliages de plomb et d'étain.

Parmi les alliages pour soudures on distingue :

La soudure des ferblantiers : Plomb 33 %, étain 67 %, point de fusion 170°.

La soudure des électriciens : Plomb 37 %, étain 63 %, point de fusion 180°.

La soudure des plombiers : Plomb 67 %, étain 33 %, point de fusion 220°.

Les alliages pour étamage ne doivent pas contenir plus de 8 % de plomb, car les sels de plomb provoquent des empoisonnements (coliques saturnines).

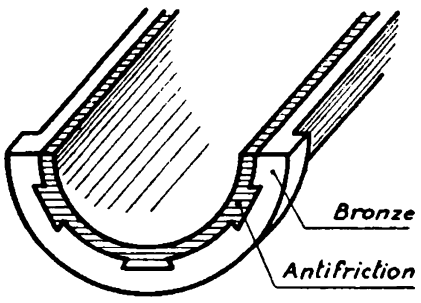


Fig 76 - *Demi-coussinet garni d'antifriction.*

Alliages antifriction

Les **alliages antifriction** sont composés d'étain, de plomb et d'antimoine. Ces alliages, ou régules, peuvent être à dominance d'étain ou de plomb :

étain 75 %, plomb 5 %, antimoine 15 %, cuivre 5 % ou étain 12 %, plomb 73 %, antimoine 15 %.

La construction mécanique emploie surtout l'antifriction pour la garniture intérieure des coussinets (fig. 76) et des glissières.

L'antimoine, métal dur, supporte l'arbre. L'étain et le plomb donnent la plasticité qui assure un bon portage de l'arbre.

Une bonne lubrification est nécessaire car le régule *coule* à basse température (400°).

Résumé

ALUMINIUM. — C'est un métal blanc, léger, très bon conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il est tendre, peu résistant, très malléable et très ductile. Densité 2,5, point de fusion 650°.

L'industrie mécanique emploie l'aluminium sous forme d'alliages dont le duralumin et l'alpax sont les plus caractéristiques.

DURALUMIN. — C'est un *alliage de forge et de laminage*. **Il contient 94,5 % d'aluminium, 4 % de cuivre et de petites quantités de manganèse, de magnésium et de silicium.**

Sa grande ténacité (Rr)e = 55 kg/mm^2**, et sa faible densité (2,7) en font l'alliage le plus employé en mécanique.**

ALPAX. — Sa composition est la suivante : aluminium 87 %, silicium 13 %. Sa grande fluidité et sa bonne ténacité (Rr)e = 22 $kg\ mm^2$**, en font un** *alliage léger de fonderie* **employé pour des moulages difficiles.**

ZINC. — Le zinc est un métal blanc bleuâtre, mou, peu résistant. Très cassant à froid, il devient malléable entre 150 et 200°. Allié au cuivre il donne le laiton.

Densité 7, point de fusion 415°.

ETAIN. — C'est un métal blanc gris, mou, peu résistant, insensible à l'écrouissage. Très malléable, il se laisse réduire en feuilles très minces. Allié au cuivre, il donne le bronze.

L'étain est le plus fusible de tous les métaux. Point de fusion 230°, densité 7,2.

PLOMB. — Le plomb est un métal très lourd : densité 11,5. Il est blanc bleuâtre, très mou, très malléable mais non ductile. Il fond à 330° et se moule très facilement.

***Alliages plomb-étain.* — Ils comprennent les alliages de soudure et les alliages d'étamage.**

Parmi les alliages de soudure on distingue : la soudure des ferblantiers, la soudure des électriciens et la soudure des plombiers.

Les alliages d'étamage ne doivent pas contenir plus de 8 % de plomb car les sels de plomb sont vénéneux.

***Alliages antifriction.* — L'antimoine est un métal dur. Allié au plomb et à l'étain il donne un métal antifriction employé en mécanique parce qu'il assure un bon glissement; mais il nécessite une bonne lubrification car il *coule* à basse température.**

LES TRAITEMENTS THERMIQUES

Nous savons maintenant (leçons 9 et 10) que les métaux possèdent, à des degrés différents, les propriétés principales suivantes : ténacité, dureté, allongement, résilience.

Par expérience, on se rend compte que les caractéristiques d'un métal varient lorsqu'il a été chauffé puis refroidi, c'est-à-dire lorsqu'il a subi un **traitement thermique.**

Les traitements thermiques principaux sont : **la trempe, le revenu, le recuit.**

I. — TREMPE

La trempe consiste à chauffer un métal à une température précise puis à le refroidir rapidement dans le but de le rendre plus dur.

A. Trempe des aciers doux

Prenons un barreau de 20 *cm* de longueur en acier doux étiré de 4 *mm* de diamètre. Il peut être plié, limé, écrasé par martelage.

Chauffons le barreau à 750° (*couleur rouge cerise naissant*) et refroidissons-le rapidement dans de l'eau froide. Nous constatons alors que les trois opérations précédentes (pliage, limage, martelage) se font avec la même facilité. C'est pourquoi nous dirons que l'**acier doux ne prend pas la trempe.**

B. Trempe des aciers durs

Répétons le même traitement thermique sur un barreau d'acier dur (acier Stub) de mêmes dimensions après lui avoir fait subir les essais de pliage, de limage et de martelage préalables. Après traitement, le barreau :

— fléchit plus difficilement : la limite élastique et la ténacité ont augmenté;

— ne peut supporter un pliage ni un martelage et se casse sous l'effort ou sous les chocs : la fragilité du métal a donc augmenté et son allongement a diminué;

— ne peut plus être limé : la dureté a beaucoup augmenté.

Ce qui s'exprime en disant que **l'acier dur prend la trempe.**

II. — REVENU

Le revenu ne s'applique qu'à des métaux qui ont été trempés. Il s'opère par réchauffage du métal, à une température inférieure à la température de trempe, suivi d'un refroidissement lent ou rapide.

Revenu des aciers durs trempés

Reprenons un tronçon du barreau d'acier dur trempé et cassé, blanchissons-le à la toile d'émeri neuve et réchauffons-le sur une plaque chauffée au *rouge sombre* (500°). Nous verrons apparaître successivement les couleurs *jaune paille*, *jaune foncé*, *rouge*

gorge de pigeon, bleue. Dès l'apparition de la couleur bleue (qui correspond à 315° environ), refroidissons le barreau dans l'eau. Nous pourrons alors :

— faire supporter au barreau un pliage, mais de plus faible amplitude qu'avant trempe, de même qu'un léger écrasement, mais l'effort de pliage sera encore grand : la fragilité a donc diminué, la résilience et l'allongement ont augmenté ;

— limer le barreau, mais la lime *mordra* moins bien qu'avant trempe : la dureté a donc diminué.

Nous constatons ainsi que le revenu a modifié les caractéristiques d'un acier trempé en le rendant surtout moins fragile.

III. — RECUIT

Le recuit s'applique à la plupart des métaux. L'opération se fait par chauffage du métal, à une température assez élevée, supérieure à celle de la trempe pour les aciers durs, puis par refroidissement lent.

A. Recuit des aciers durs trempés

Sur le 2e tronçon d'acier Stub, qui est trempé mais non revenu, réalisons la 3e expérience suivante :

Chauffons le barreau à 800° (*couleur rouge cerise*) puis enfouissons-le dans le fraisil (résidus de combustion qui se trouvent autour du feu de forge) afin qu'il refroidisse lentement.

Après refroidissement nous constatons que le barreau se plie, se lime, s'écrase avec la même facilité qu'avant trempe.

L'acier, qui est recuit, a perdu ses caractéristiques dues à la trempe pour reprendre celles d'origine.

B. Recuit des aciers doux

Si nous réalisons la même expérience sur un barreau d'acier doux étiré, donc fortement écroui par le passage à la filière d'étirage, nous constatons, qu'après refroidissement, il se plie et s'écrase plus aisément.

Le recuit lui a donc fait acquérir une plus grande malléabilité et un plus grand allongement en supprimant les effets de l'écrouissage.

C. Recuit du cuivre, du laiton, de l'aluminium

Ces métaux, lorsqu'ils sont chaudronnés, subissent le phénomène de l'écrouissage, c'est-à-dire que leur allongement diminue et qu'ils deviennent cassants (leçon N° 10).

Afin de les conduire à leur forme finale, il faut faire disparaître à temps les effets de l'écrouissage. Leur recuit s'opère de la façon suivante :

1° Cuivre. — Chauffer jusqu'au rouge sombre (550° environ) puis refroidir dans l'eau. La vitesse de refroidissement n'a aucune influence sur le recuit du cuivre. Il est donc inutile de refroidir lentement.

2° Laiton. — Même température de chauffage (rouge sombre) que pour le cuivre, mais **refroidissement lent** à l'air afin que les effets du recuit soient complets.

3° Aluminium. — La température de recuit de l'aluminium est de 400°. Or, cette température ne porte pas le métal au rouge et ne peut être *jugée à la couleur*. Il existe deux moyens empiriques qui permettent d'évaluer cette température.

a) Pendant le chauffage, jeter de temps en temps sur le métal une pincée de sciure fine et sèche de bois tendre (peuplier). Lorsque des étincelles se manifestent, la température de 400° est à peu près atteinte.

b) Enduire l'aluminium de savon ou d'huile. La température est atteinte dès que les endroits enduits se teintent d'une couleur brunâtre. Le refroidissement doit se faire alors rapidement par plongée de l'aluminium dans l'eau.

Remarque. — Quel que soit le métal, et quel que soit le traitement thermique à appliquer, le bon résultat dépend de la précision du chauffage. Il y a donc intérêt à pratiquer le chauffage au four car la température peut y être contrôlée avec précision.

Tableau récapitulatif des principaux effets de la trempe, du revenu et du recuit (Tableau N° 2).

Traitements thermiques	Métaux traités	Caractéristiques modifiées			
		Ténacité	Dureté	Résilience	Allongt
Trempe	Acier doux	Sans changement			
	Acier dur	↑	↑	↓	↓
Revenu	Acier dur	↘	↘	↖	↖
Recuit	Acier dur	↓	↓	↑	↑
	Acier doux écroui	↓	↓	↑	↑
	Cuivre, laiton	↓	↓	↑	↑
	Aluminium	↓	↓	↑	↑

Tableau N° 2 - *Les flèches verticales indiquent que les caractéristiques sont beaucoup modifiées, les flèches obliques indiquent que les caractéristiques sont moins modifiées : augmentation pour flèches vers le haut et diminution pour flèches vers le bas.*

Résumé

Un métal qui a été chauffé puis refroidi a subi un traitement thermique.

Les traitements thermiques modifient les caractéristiques de la plupart des métaux.

a) *Trempe.* — La *trempe* consiste à chauffer le métal à une température bien définie puis à le refroidir rapidement en vue d'augmenter surtout sa dureté.

Elle est sans effet sur les aciers doux et elle modifie les caractéristiques des aciers durs dans les sens suivants :

— la dureté, la ténacité et la limite élastique augmentent;

— la résilience et l'allongement diminuent.

b) *Revenu.* — Le *revenu* s'applique aux métaux trempés en vue de diminuer leur fragilité.

Il s'opère par réchauffage du métal trempé, à une température toujours inférieure à la température de trempe, suivi d'un refroidissement lent ou rapide.

Par le revenu, les aciers durs trempés perdent partiellement de la dureté, de la ténacité et de la fragilité tandis que l'allongement augmente.

Ces modifications sont d'autant plus accusées que la température de réchauffage a été plus élevée.

c) *Recuit.* — Le *recuit* s'opère sur des métaux trempés ou écrouis.

Les aciers durs trempés sont chauffés à 800° environ, c'est-à-dire au-dessus de la température de trempe, puis refroidis très lentement à l'abri de l'air. Après refroidissement ils ont les mêmes caractéristiques qu'avant trempe.

Les aciers doux, quoique ne prenant pas la trempe, deviennent plus malléables par un recuit à refroidissement lent.

Le cuivre et le laiton recuits à 550° (rouge sombre) acquièrent un plus grand allongement. Le refroidissement peut être rapide pour le cuivre; il doit être lent pour le laiton.

L'aluminium acquiert également un plus grand allongement par un recuit à 400° et un refroidissement rapide.

Le bon résultat d'un traitement thermique dépend de la précision du chauffage et de la vitesse de refroidissement.

QUATRIÈME PARTIE

L'USINAGE DES MÉTAUX

Principe du travail à l'outil de coupe.

Génération du plan, du cylindre et du cône.

Étude expérimentale des outils de coupe.

L'outil meule.

Étude élémentaire de la vitesse de coupe.

L'USINAGE DES MÉTAUX

Le travail à l'outil de coupe, appelé usinage, a pour but l'obtention de formes à des cotes précises, par enlèvement du métal à froid à l'aide d'outils tranchants. Le métal est enlevé sous forme de copeaux.

I. — IDÉE ET PRINCIPE DU TRAVAIL A L'OUTIL DE COUPE

Examinons attentivement un étau-limeur qui travaille lentement.

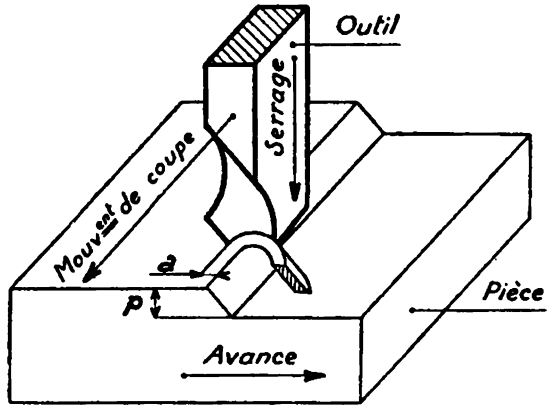


Fig 77. *Principe du travail à l'outil de coupe.*

Nos observations relatives à l'outil, à la pièce, à leurs positions relatives, et aux mouvements qui les animent (fig. 77) se résument ainsi :

— Le copeau est détaché par l'outil au cours de son mouvement de translation horizontal, pendant la *course travail.*

— Lorsqu'un copeau est enlevé, la pièce est décalée d'une quantité a suivant un mouvement de translation horizontal perpendiculaire au premier, le mouvement avance, ou plus simplement l'avance, qui a lieu pendant la *course retour* c'est-à-dire quand l'outil ne travaille pas.

Par combinaison de ces deux mouvements mécaniques, on enlève une première couche de métal dite première passe.

— Pour effectuer une deuxième passe, on descend l'outil, à la main, d'une quantité P appelée profondeur de passe, ou serrage. Ce mouvement de translation vertical de l'outil, perpendiculaire aux précédents, est indispensable car il faut répartir le métal en excédent sur un nombre de passes variable et donner à la pièce l'épaisseur voulue.

— La partie active de l'outil, ou partie taillante, a la forme d'un coin. Cette partie doit être évidemment plus dure que le métal à travailler, sans quoi l'outil ne pourrait couper.

Pour les outils en acier, la dureté est donnée par la trempe.

— A l'instant où l'outil attaque le métal, seule l'arête coupante est en contact avec la pièce.

II. — GÉNÉRATION DES SURFACES ÉLÉMENTAIRES

L'examen de l'étau-limeur au travail nous a montré que cette machine engendre **un plan** par translations combinées (fig. 78).

Si nous examinons un tour, une fraiseuse, une perceuse en action, nous faisons les mêmes constatations que précédemment en ce qui concerne la forme de la partie active des outils employés sur ces machines. Mais les mouvements reçus par la pièce et l'outil diffèrent en raison de la forme de la surface à engendrer.

Les propriétés géométriques des surfaces servent de base à la combinaison des mouvements nécessaires à leur obtention.

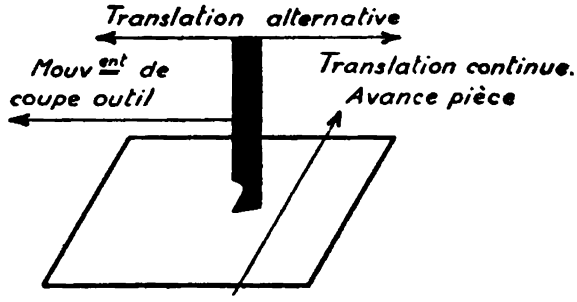


Fig 78 - *Génération du plan à l'étau-limeur.*

Tour

Génération du plan par translation et rotation combinées (fig. 79), génération du cylindre et du cône par rotation et translation parallèle à la génératrice de la surface (fig. 80 et 81).

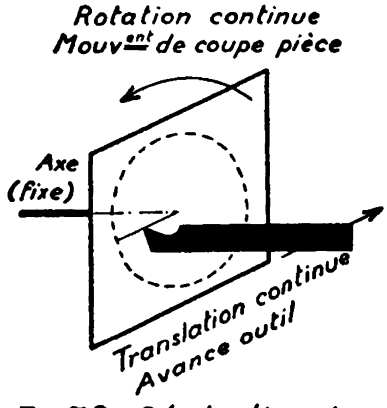


Fig 79 - *Génération du plan au tour.*

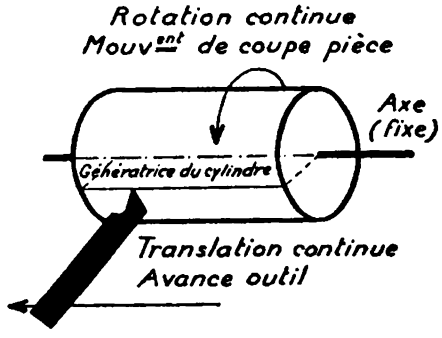


Fig 80 - *Génération du cylindre au tour.*

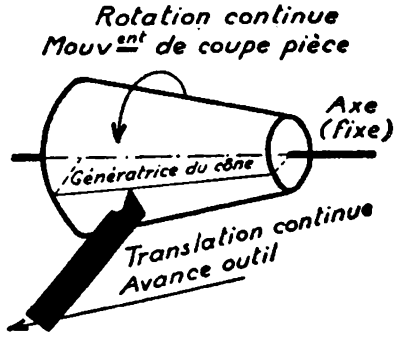


Fig 81 - *Génération du cône au tour.*

Fraiseuse

Génération du plan par translation et rotation combinées (fig. 82).

Perceuse

Génération du cylindre par rotation et translation parallèle à la génératrice (fig. 83).

Remarque. — Pour la génération du cylindre à la perceuse la pièce est fixe et l'outil reçoit les mouvements de coupe et d'avance.

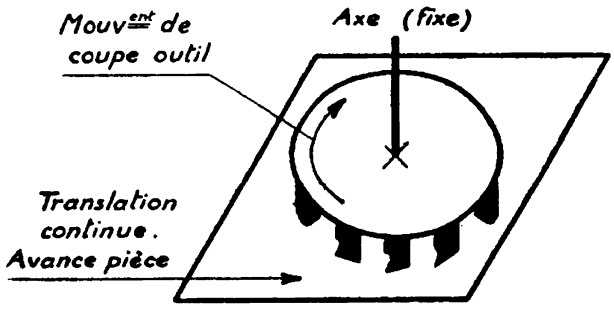


Fig 82 - *Génération du plan à la fraiseuse.*

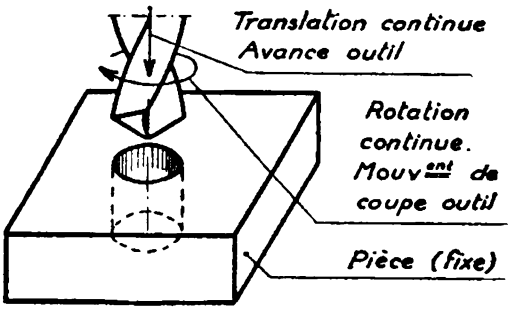


Fig 83 - *Génération du cylindre à la perceuse.*

III. — CONSTITUTION D'UNE MACHINE-OUTIL

Sa fonction étant définie, toute machine-outil comprend obligatoirement :

— le support d'outil,

— le support de pièce,

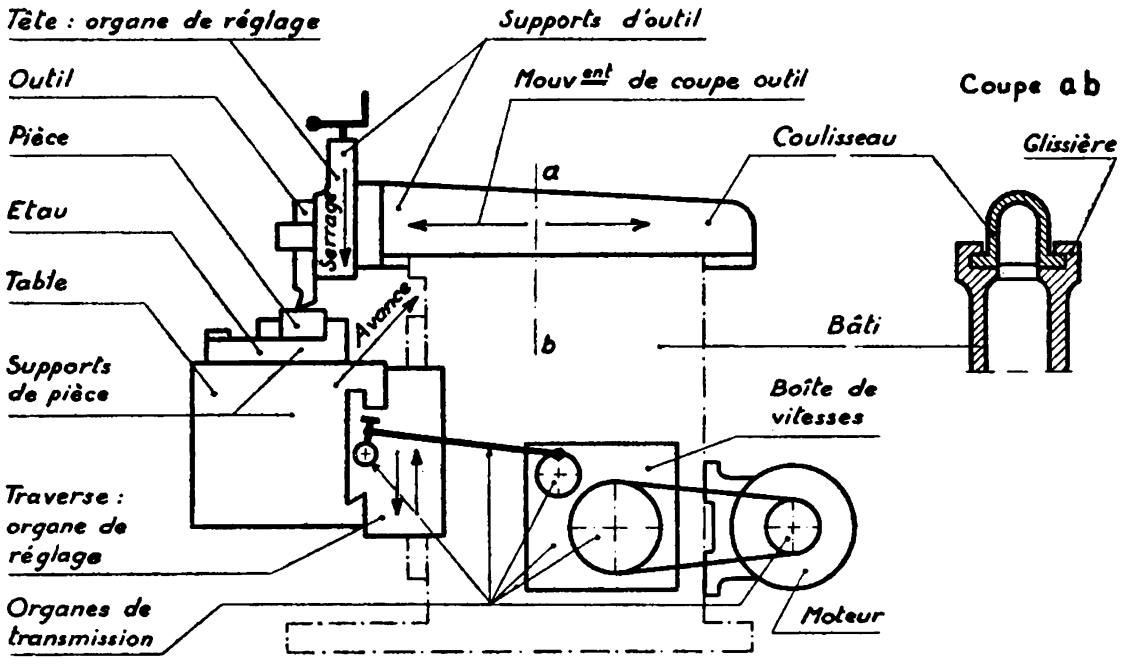


Fig 84 - *Disposition des différents organes d'un étau-limeur.*

— les organes de transmission des mouvements de l'outil et de la pièce (mouvements de coupe et d'avance),

— les organes de réglage de la position de l'outil par rapport à la pièce (mouvement de profondeur de passe),

— les guides des différents organes en mouvement,
— le moteur,
— le bâti, rigide, qui supporte le tout.

La figure 84 montre, sur un étau-limeur, la position de ces divers organes.

Résumé

L'usinage **consiste à enlever le métal à froid, sous forme de copeaux, à l'aide d'outils tranchants.**

a) ***Principe du travail à l'outil de coupe.*** **— L'enlèvement d'une couche de métal, appelée passe, résulte de deux mouvements combinés :** ***le mouvement de coupe*** **et** ***l'avance.*** **Ces deux mouvements sont toujours obtenus mécaniquement.**

L'enlèvement d'une nouvelle couche de métal se fait après avoir donné à l'outil, manuellement, la ***profondeur de passe,*** **ou** ***serrage,*** **convenable.**

Les trois mouvements se font dans trois directions perpendiculaires entre elles.

La partie active d'un outil est celle qui coupe le métal. Elle a la forme d'un coin.

Pour qu'un outil coupe, il faut :
— qu'il soit plus dur que le métal à usiner;
— que l'arête coupante soit seule en contact avec le métal.

b) ***Rôle de la machine-outil.*** **— Une machine-outil engendre des surfaces façonnées.**

La génération d'une surface élémentaire (plan, cylindre, cône) résulte de la combinaison de deux mouvements (deux translations ou une translation et une rotation) basée sur les propriétés de cette surface.

c) ***Constitution d'une machine-outil.*** **— Toute machine-outil comprend obligatoirement :**
— le support d'outil;
— le support de pièce;
— les organes de transmission du mouvement de l'outil et de la pièce;
— les organes de réglage de la position de l'outil par rapport à la pièce;
— les guides des organes en mouvement;
— le moteur;
— le bâti.

L'USINAGE DES MÉTAUX (Suite)

FORME ET ANGLES CARACTÉRISTIQUES D'UN OUTIL DE COUPE

A. Forme de la partie active

L'étude précédente nous a montré que la partie active d'un outil a la forme d'un coin.

Sous l'effort d'écartement provoqué par la pénétration du coin, le copeau, plus mince, se détache de la pièce en cours d'usinage.

B. Angles caractéristiques d'affûtage

La partie active se présente, relativement à la pièce, dans une position particulière définie par des angles caractéristiques.

Pour étudier ces angles, montons un outil pelle sur un étau-limeur et réalisons une rainure à profil rectangulaire dans une pièce en acier doux. La figure 85 matérialise les résultats de nos observations :

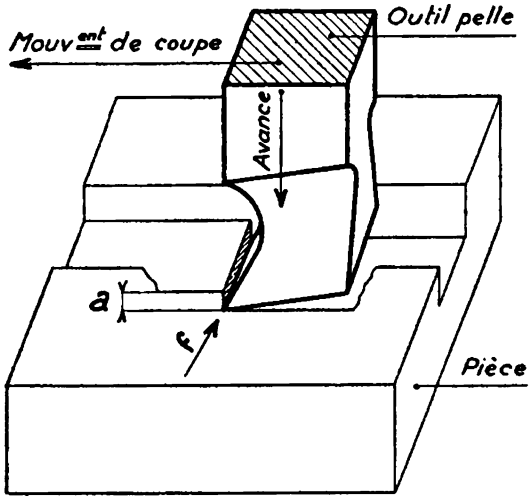


Fig 85_ *Exécution d'une rainure à l'outil pelle.*

a). La table porte-pièce ne se déplace pas pendant le travail. Seuls ont lieu le mouvement de coupe et le mouvement de profondeur de passe. Dans ce cas particulier, ce dernier mouvement est une **avance.**

b) L'outil a une arête tranchante normale (perpendiculaire) aux flancs de la rainure. Regardons-le de façon à ce que notre œil soit dans le prolongement de l'arête coupante, c'est-à-dire suivant la flèche *f* qui est normale aux flancs de la rainure. Nous voyons cette arête coupante suivant un point et la partie active dans sa forme donnée par la figure 86.

L'arête coupante est l'intersection des deux faces meulées pendant l'affûtage : la **face en dépouille,** située du côté de la pièce et la **face d'attaque** sur laquelle glisse et s'appuie partiellement le copeau.

La face en dépouille fait, avec la surface usinée un angle **a** : c'est **l'angle de dépouille.**

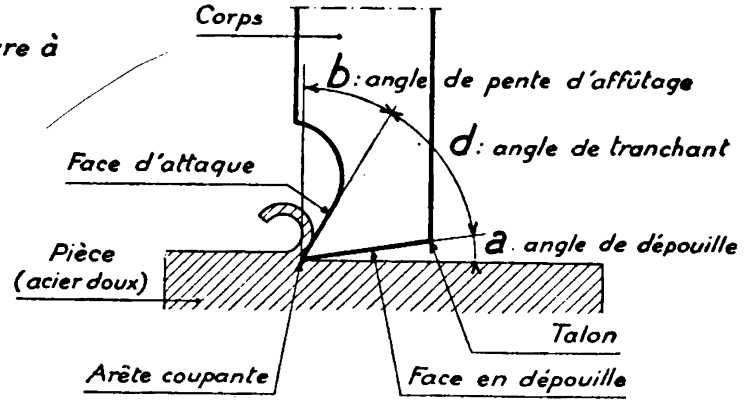


Fig 86_ *Forme et angles caractéristiques d'un outil pelle.*

La face d'attaque et la normale à la surface usinée forment **l'angle de pente d'affûtage b.**

L'angle **d**, que font la face en dépouille et la face d'attaque, est **l'angle de tranchant.**

Le même outil, monté sur un tour (fig. 87), présente les mêmes caractéristiques. Si le métal usiné est également de l'acier doux, ces angles ont même valeur.

Les angles **a, b, d,** sont les **angles caractéristiques d'affûtage** ou encore les **angles principaux d'affûtage.**

L'angle **a**, pour l'outil de tour, est compris entre la face en dépouille et la tangente à la circonférence passant par l'arête coupante.

La somme des angles **a, b, d,** vaut 90°.

Les angles caractéristiques d'un outil fixent ses qualités de coupe. Ils varient suivant la nature du métal à travailler. Leurs différentes valeurs ont été déterminées par l'expérience (Voir tableau n° 3).

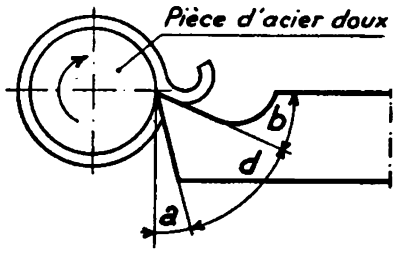


Fig 87.

Il est bon de remarquer qu'une variation de **a** n'a aucune influence sur la position de la face d'attaque par rapport à la pièce, tandis qu'une variation de **b** modifie la position de cette face.

Valeur des angles a, b, d pour les métaux courants.

Métaux travaillés	*Valeur des angles*		
	$\hat{a}$	$\hat{d}$	$\hat{b}$
Aluminium	6°	39°	45°
Cuivre	6°	44°	40°
Acier doux	6°	54°	30°
Acier mi-dur, fonte douce	6°	64°	20°
Acier dur, fonte dure, bronze	6°	74 à 79°	10 à 5°
Bronze dur et laiton	6°	84°	0°

Tableau N° 3 _ *Le tableau indique que, quel que soit le métal travaillé, l'angle de dépouille a même valeur : 6°.*

Examen du copeau

Les copeaux enlevés sur le tour, sur l'étau-limeur, ainsi que sur toutes machines à outils tranchants, s'appellent **copeaux taillés.**

L'aspect du copeau varie avec la nature du métal travaillé. Les métaux malléables

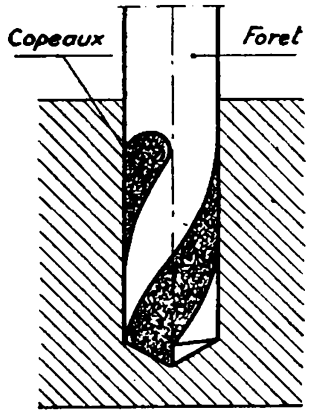


Fig 88 - *Les copeaux ne peuvent sortir. L'outil descend avec difficulté.*

donnent des copeaux d'un seul tenant. Les métaux non malléables donnent des parcelles.

On conçoit aisément que les copeaux, s'ils ne sont pas évacués, gênent l'outil dans son avance et détériorent la surface usinée. On peut mettre ces faits en évidence en perçant un trou à l'aide d'un foret très usagé (fig. 88).

Au début du perçage, l'outil coupe bien et sa descente est facile. Dès que les copeaux ne peuvent plus s'évacuer, l'outil descend avec difficulté et la perceuse ralentit. Si l'on observe la surface usinée, on s'aperçoit qu'elle est très rugueuse par suite du frottement des copeaux comprimés contre la paroi du trou.

Il faut donc prévoir et faciliter l'évacuation des copeaux.

Résumé

La partie active d'un outil de coupe est définie par sa forme et ses angles caractéristiques d'affûtage.

FORME. — La partie active a la forme d'un coin. Sa pénétration dans le métal à usiner détache le copeau.

***Angles caractéristiques d'affûtage.* — La position de la partie active, relativement à la pièce, détermine les angles suivants :**

- ***angle de dépouille :* c'est l'angle fait par la surface travaillée et la face en dépouille de l'outil;**
- ***angle de pente d'affûtage :* c'est l'angle b compris entre la perpendiculaire à la surface travaillée et la face d'attaque de l'outil;**
- ***angle de tranchant :* c'est l'angle *d* fait par la face en dépouille et la face d'attaque de l'outil.**

La somme de ces trois angles est égale à 90°. Leur valeur dépend du métal à usiner, mais quelle que soit la nature de ce métal, l'angle de dépouille a une valeur constante de 6°.

LE COPEAU. — L'aspect du copeau varie suivant la malléabilité du métal usiné. Les métaux malléables donnent des copeaux d'un seul tenant, les métaux non malléables donnent des parcelles.

Les copeaux, lorsqu'ils ne sont pas évacués, gênent l'outil et détériorent la surface engendrée. Il faut prévoir et favoriser leur évacuation.

L'USINAGE DES MÉTAUX (Suite)

VALEUR DES ANGLES CARACTÉRISTIQUES D'AFFUTAGE ET FORME DE LA PARTIE ACTIVE D'UN OUTIL

Un outil coupe bien, ou plus exactement un outil a un affûtage correct, lorsque la surface usinée est lisse et que cet outil a une durée relativement grande.

La valeur *optima* (la meilleure) des angles caractéristiques d'affûtage est déterminée expérimentalement.

A. Valeur de l'angle de dépouille

1re expérience. — Sur un cylindre en acier doux, exécutons un travail de chariotage avec l'outil figure 89 : **a** = 0°, **d** = 60°, **b** = 30°. Nous constatons que la surface usinée est rugueuse, que le copeau est arraché, qu'il y a échauffement et usure rapide de l'arête coupante. L'outil est mal affûté ; on dit qu'il **talonne.**

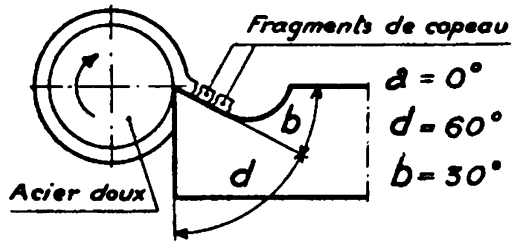


Fig 89 - *La surface est rugueuse, le copeau est arraché et fragmenté, l'arête coupante s'use rapidement. L'outil est mal affûté : il talonne.*

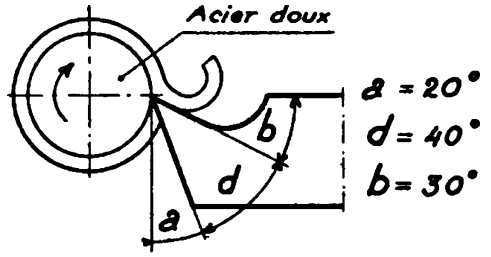


Fig 90 - *La surface est lisse, le copeau est bien taillé mais l'arête coupante s'use rapidement. L'angle de dépouille est trop grand : l'outil est mal affûté.*

2e expérience. — Chariotons le même cylindre avec l'outil figure 90 : **a** = 20°, **d** = 40°, **b** = 30°. Nous constatons que la surface usinée est lisse mais que l'usure de l'arête coupante est rapide. L'outil est mal affûté.

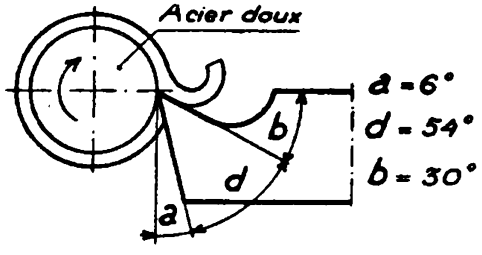


Fig 91 - *La surface est lisse, le copeau est bien taillé, l'arête coupante a la plus longue durée.*

Ces deux essais nous conduisent à poser la question suivante : la valeur de **b** n'ayant pas changé dans les deux cas, n'y a-t-il pas, entre **a** = 0° et **a** = 20°, une autre valeur de **a** qui donne une surface lisse et une plus grande durée de l'outil?

En multipliant les expériences, et en donnant chaque fois à l'angle **a** une nouvelle valeur comprise entre 0 et 20°, nous constatons que sa valeur optima est 6° (fig. 91). La surface usinée est lisse le copeau est bien taillé et s'enroule convenablement, l'arête coupante a la plus longue durée.

B. Valeur de l'angle de pente d'affûtage

1re expérience. — Conservons le cylindre en acier doux et travaillons avec l'outil figure 92 : **a** = 6°, **d** = 84°, **b** = 0°. Nous constatons que la surface est rugueuse, que le copeau est arraché et fragmenté, que la machine ralentit par suite d'un effort trop grand à fournir. L'outil est mal affûté.

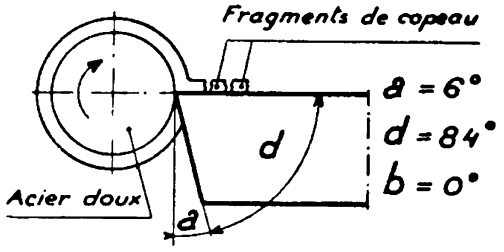


Fig 92 - *La surface est rugueuse, le copeau est arraché et fragmenté. L'outil est mal affûté.*

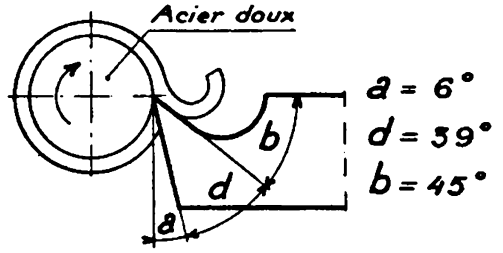


Fig 93 - *La surface est lisse, le copeau est bien taillé mais l'arête coupante s'use rapidement. L'outil est mal affûté.*

2e expérience. — Après emploi d'un nouvel outil où **b** et **d** seuls varient (fig. 93) : **a** = 6°, **d** = 39°, **b** = 45°, nous constatons une surface lisse, un enroulement du copeau suivant un grand rayon, mais une usure très rapide de l'arête coupante. L'outil est mal affûté.

En multipliant les essais, en donnant à **b** des valeurs différentes comprises entre 0 et 45°, nous constatons que l'outil employé précédemment (fig. 91) produit le meilleur travail avec l'usure la moins rapide de l'arête coupante. La valeur optima de l'angle de pente d'affûtage est donc 30° pour l'acier doux.

3e expérience. — A l'aide de l'outil (figure 91), chariotons une pièce en acier dur ; la surface usinée est lisse mais après un temps de travail très court, le copeau est arraché, la surface est rugueuse et l'arête coupante est fortement émoussée.

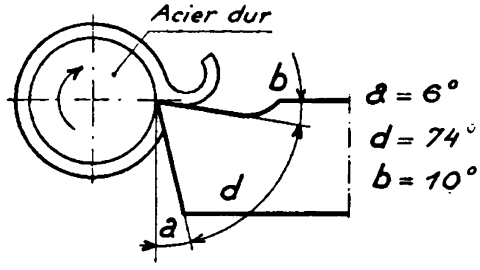


Fig 94 - *La surface est lisse, le copeau est bien taillé, l'arête coupante a une durée maxima. L'outil est bien affûté.*

Des essais successifs permettent de constater que la valeur optima de l'angle **b** pour l'acier dur est 10° (fig. 94).

L'usinage d'autres métaux nous conduit aux valeurs consignées dans le tableau n° 3 de la leçon précédente.

Nota. — Les essais auxquels nous venons de nous livrer mettent en valeur la *méthode expérimentale* qui s'appuie sur des faits et non sur des calculs.

C. Finesse de l'arête coupante

Sur un outil bien affûté (fig. 95) pratiquons un léger plat de 0,2 *mm* du côté de la face d'attaque (fig. 96) ou du côté de la face en dépouille (fig. 97) et mettons ces outils en travail. Tous deux produisent une surface rugueuse et des copeaux arrachés. En

effet : l'outil figure 96 correspond à celui figure 92 pour lequel **b** = 0°; l'outil figure 97 correspond à celui figure 89 où **a** = 0°.

Un outil dont l'arête coupante est arrondie (fig. 98) produit également un mauvais travail car le tranchant n'existe plus.

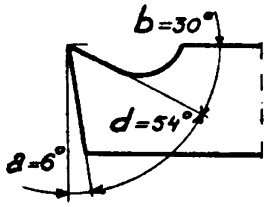


Fig 95_ *Outil bien affûté.*

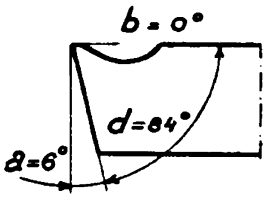


Fig 96_ *Plat sur la face d'attaque.*

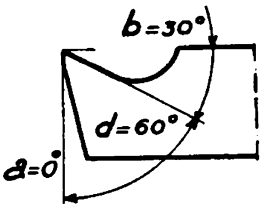


Fig 97_ *Plat sur la face en dépouille.*

Fig 98_ *Arête coupante arrondie.*

Nous pouvons en conclure que c'est au voisinage immédiat de l'arête coupante que les angles caractéristiques doivent être respectés afin de déterminer une arête coupante très fine. La finesse de l'arête coupante s'obtient par parachèvement de l'affûtage sur une meule à grains très fins ou à la pierre à huile.

D. Profil arrière de la face d'attaque

Un outil usagé présente parfois la forme de la figure 99. Bien que les angles caractéristiques soient respectés et que l'arête soit fine, le copeau ne peut s'écouler; il se fragmente par butée contre l'outil. Le métal est arraché, la surface est rugueuse.

Il est donc nécessaire de prévoir un profil arrière de la face d'attaque suffisamment dégagé pour ne pas gêner la formation du copeau ni son évacuation. Cette nécessité a déjà été remarquée dans la leçon précédente (fig. 88).

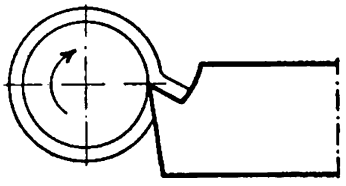


Fig 99_ *Le copeau ne peut s'écouler; il est arraché: la surface est rugueuse. L'outil est mal affûté.*

E. Vérification des angles caractéristiques

Les essais précédents montrent qu'il est indispensable, lors de l'affûtage, de donner aux outils les angles caractéristiques convenables.

Dans ce but, l'ouvrier affûteur dispose de calibres-vérificateurs d'affûtage (fig. 100).

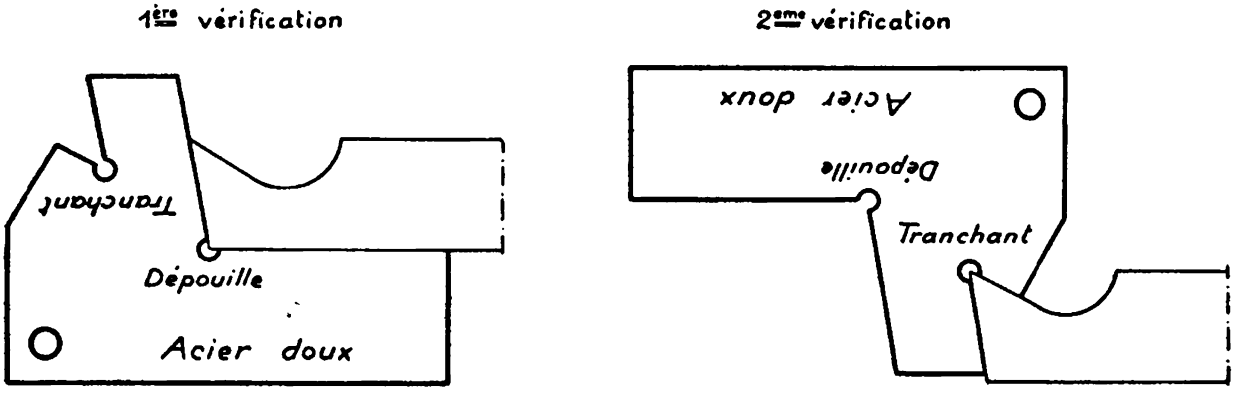


Fig 100_ *Calibre-vérificateur des angles caractéristiques.*

Pour réduire le temps d'affûtage et diminuer l'échauffement de l'outil au cours de l'affûtage, on a réduit, à la construction, l'étendue des surfaces d'attaque et de dépouille. Ainsi sont construits les *outils normalisés* (fig. 102).

Résumé

Un outil est affûté correctement lorsque la surface travaillée est lisse et que l'outil a sa durée maximum.

Les valeurs optima des angles caractéristiques ont été déterminées par la *méthode expérimentale* qui a conduit aux conclusions suivantes :

- **la valeur de l'angle de dépouille est constante et égale à 6° quel que soit le métal usiné ;**
- **la valeur des angles de tranchant et de pente d'affûtage varie selon la dureté et la ténacité du métal usiné ;**
- **l'arête coupante doit avoir une grande finesse ;**
- **le profil arrière de la face d'attaque doit permettre l'écoulement facile du copeau.**

La valeur des angles caractéristiques est contrôlée par des calibres d'angle ou vérificateurs d'affûtage.

Les *outils normalisés* ont des surfaces d'attaque et de dépouille de faible étendue dans le but de réduire le temps d'affûtage et l'échauffement de l'outil en cours d'affûtage.

L'USINAGE DES MÉTAUX (Suite)

I. — CONSTRUCTION DES OUTILS

Les outils, étudiés seulement du point de vue construction, peuvent être classés en trois catégories :

— les **outils pris dans la barre;**
— les **outils à mise rapportée;**
— les **outils à lame amovible.**

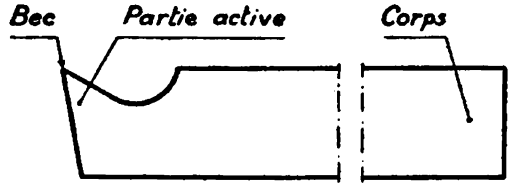


Fig 101 _ *Un outil comprend la partie active et le corps.*

Quelle que soit la méthode d'obtention, l'outil comprend deux parties (fig. 101) :

— la **partie active,** qui coupe le métal;
— le **corps,** destiné à assurer le montage de l'outil sur l'organe porte-outil de la machine. Les corps les plus courants ont une section carrée, rectangulaire ou circulaire.

A. Outils pris dans la barre

1° Outils forgés. — La partie active est ébauchée par forgeage d'une extrémité d'un barreau d'acier à outil.

Ce procédé de fabrication est délicat à appliquer :

— en cas de surchauffe, le métal est altéré; il perd ses propriétés d'origine;
— en cas d'insuffisance de chauffe, l'outil est généralement criqué.

Par le forgeage, on peut obtenir des outils droits (fig. 111 et 113) ou des outils coudés (fig. 112). Le coudage donne à la partie active une direction qui facilite le travail.

2° Outils meulés. — L'ébauche de la partie active est obtenue par meulage. Ainsi sont éliminés les risques provenant d'un chauffage mal conduit.

Par ce procédé on obtient des outils droits (fig. 111 et 113).

Parfois les outils meulés sont pris dans des barreaux trempés sur toute leur longueur, appelés **barreaux traités.**

B. Outils à mise rapportée

On désigne ainsi des outils dont le corps est en acier mi-dur. La partie active est constituée par une plaquette, ou **mise,** en acier de très bonne qualité (acier rapide extra supérieur), soudée sur le corps (fig. 102).

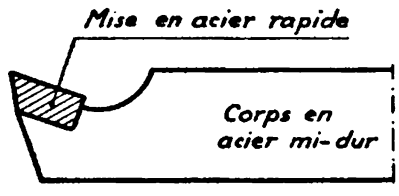


Fig 102_ *Outil normalisé à mise rapportée.*

Les outils ainsi obtenus coûtent moins cher que les précédents. La mise seule est en acier d'un prix élevé et on évite les risques de malfaçon par forgeage ainsi que les *chutes* importantes (outils forgés ou meulés devenus trop courts).

C. Outils à lame amovible

Dans ce type d'outil (fig. 103), la partie active est constituée par une lame, ou **grain**, prise dans un barreau de petite section et de faible longueur. Elle est maintenue, par vis ou par clavette, dans un corps porte-outil.

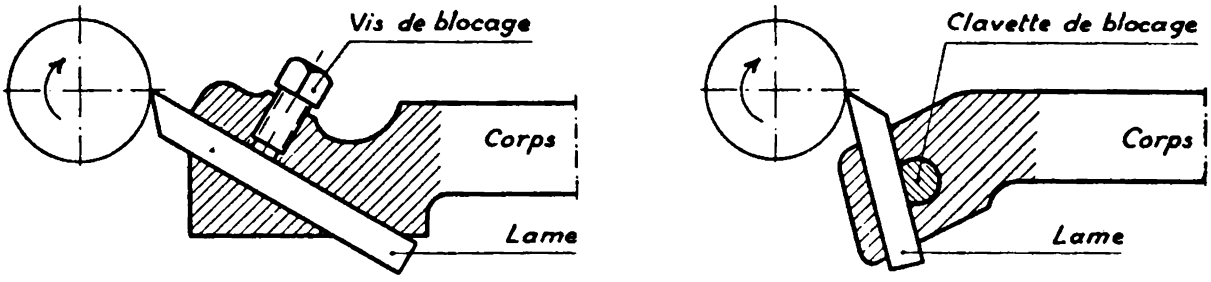


Fig 103 - *Différents types d'outils à lame amovible.*

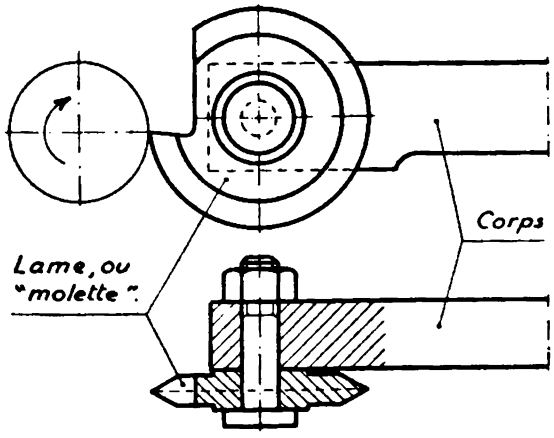


Fig 104 - "*Outil molette.*"

L'outil ainsi conçu présente les avantages suivants :

— suppression du forgeage ou du soudage des mises ;
— faculté de remplacer un grain par un autre de forme active différente ;
— réfection rapide d'un grain usé ;
— possibilité de confectionner des lames de rechange ;
— prix modique d'une lame ;
— perte d'acier à outil très faible.

Quelquefois le grain, qui est de forme prismatique, est remplacé par une lame circulaire appelée *outil molette* (fig. 104).

L'outil molette offre, sous un encombrement restreint, une capacité d'affûtage beaucoup plus grande que celle de la lame droite.

II. — POSITION DE L'OUTIL PAR RAPPORT A LA PIÈCE

A. Position du bec de l'outil

Dans le travail de tournage, la position de l'outil est bien déterminée : le bec d'un outil posé horizontalement doit être au niveau du centre de la pièce (fig. 105).

Si l'outil est mal positionné, soit trop bas (fig. 106), soit trop haut (fig. 107), la valeur des angles caractéristiques est modifiée ; parfois à tel point que l'outil coupe mal.

Remarque importante. — Il est important de remarquer qu'un outil peut occuper diverses positions (outil monté pour tournage à l'envers, outil monté obliquement sur machine spéciale), sans qu'il y ait modification de la valeur des angles caractéristiques (fig. 108).

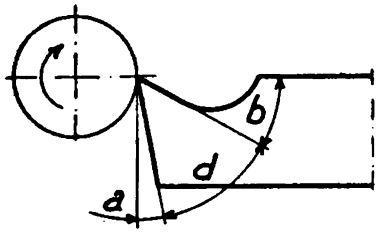


Fig 105 - *Outil bien affûté et bien positionné.*

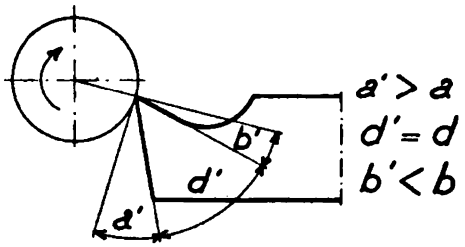


Fig 106 - *Outil bien affûté mais mal positionné : arête trop basse, dépouille trop forte, pente d'affûtage trop faible.*

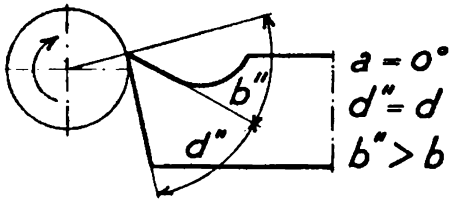


Fig 107 - *Outil bien affûté mais mal positionné : arête trop haute, dépouille nulle, pente d'affûtage trop forte.*

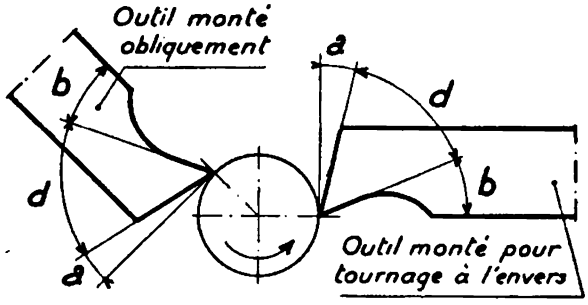


Fig 108 - *Positions particulières d'un outil n'entraînant pas une modification de la valeur des angles caractéristiques.*

B. Position de l'arête coupante

Si l'on veut réaliser une surface plane à l'étau-limeur (fig. 109) ou un cylindrage au tour (fig. 110), on peut employer un outil pelle et opérer comme suit :

On fait une 1re opération en faisant progresser l'outil perpendiculairement à la pièce (avance) puis, la pièce, ou l'outil, sont décalés d'une distance légèrement inférieure à la longueur de l'arête coupante (serrage) et l'outil exécute une 2e opération, et ainsi de suite.

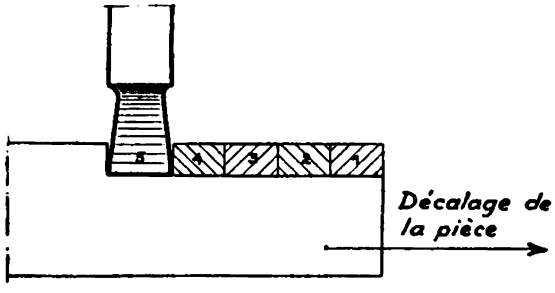


Fig 109 - *Dressage à l'étau-limeur par emploi d'un outil pelle.*

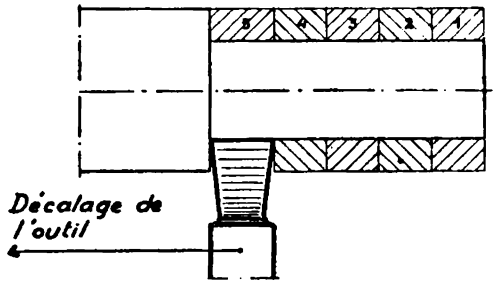


Fig 110 - *Cylindrage au tour par emploi d'un outil pelle.*

Cette méthode conduit à une perte de temps et, du fait des différentes reprises, à des incorrections de surface.

Il est préférable d'incliner l'outil et de le faire progresser lentement suivant une génératrice de la surface (fig. 111). On obtient ainsi une bonne correction géométrique, mais il faut incliner la tourelle porte-outil, ce qui gêne souvent le travail.

Pour éviter cet inconvénient on peut :

— soit couder la partie active par forgeage de façon à ce que l'arête coupante se présente obliquement par rapport à la surface usinée (fig. 112);

— soit incliner l'arête coupante par meulage (fig. 113).

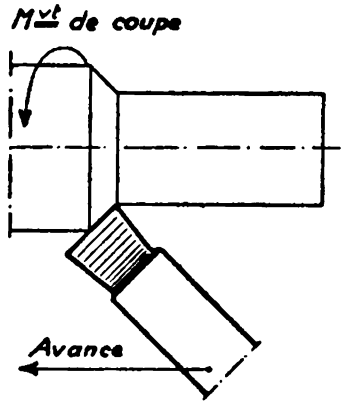


Fig 111. *Cylindrage à l'outil pelle incliné.*

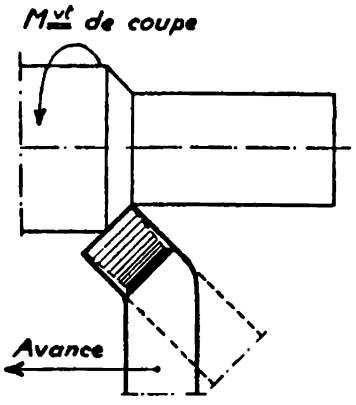


Fig 112. *Cylindrage à l'outil forgé coudé.*

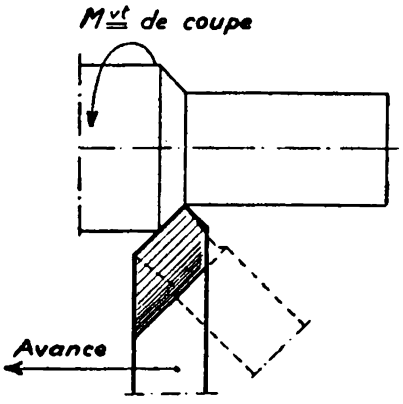


Fig 113. *Cylindrage à l'outil droit meulé.*

Résumé

Au point de vue construction, on peut classer les outils en trois catégories : les *outils pris dans la barre*, les *outils à mise rapportée* et les *outils à lame amovible*.

Un outil comporte la *partie active*, qui coupe le métal. et le *corps*, qui permet le montage de l'outil.

OUTILS PRIS DANS LA BARRE

Ils comprennent :

a) *Les outils forgés.* — Le forgeage ne donne de bons résultats que s'il est exécuté rapidement et à bonne température. Par ce procédé on peut couder la partie active ou une partie du corps de l'outil.

b) *Les outils meulés.* — La partie active est façonnée par meulage. Ces outils sont droits.

OUTILS A MISE RAPPORTEE

La partie active est constituée par une plaquette, ou *mise*, en acier à outil de haute qualité, soudée à l'extrémité d'un corps en acier mi-dur.

Le prix de revient de tels outils est peu élevé et les *chutes* importantes d'acier à outil sont évitées.

OUTILS A LAME AMOVIBLE

Une lame parallélépipédique, ou *grain*, en acier à outil, est fixée à un corps en acier mi-dur, à l'aide d'une vis ou d'une clavette.

Quelquefois le grain est remplacé par une lame circulaire ; l'outil prend alors le nom d'outil molette. L'outil molette présente une capacité d'affûtage plus grande que celle du grain droit.

POSITION DE L'OUTIL PAR RAPPORT A LA PIECE

a) *Position du bec de l'outil.* — Dans le travail de tournage, le bec de l'outil doit être dans une position telle que la valeur des angles caractéristiques ne soit pas modifiée.

Toute modification de valeur de ces angles nuit à une bonne coupe de l'outil.

b) *Position de l'arête coupante.* — Pour le surfaçage à l'étau-limeur et le cylindrage au tour, il est préférable d'employer des outils qui présentent une arête coupante inclinée par rapport à la surface à engendrer et de leur donner une avance lente.

Ainsi sont obtenues des surfaces exemptes d'incorrection géométrique.

L'USINAGE DES MÉTAUX (Suite)

D'après leur emploi, ou mieux, d'après la surface qu'ils réalisent, les outils se divisent en **outils d'extérieur** et en **outils d'intérieur.**

I. — OUTILS D'EXTÉRIEUR

Nous étudierons seulement les outils qui permettent d'exécuter des surfaces élémentaires simples en nous limitant aux travaux de tournage.

A. Outil à tronçonner ou à saigner

Tronçonner une pièce, ou la *saigner*, c'est la couper suivant un plan perpendiculaire à son axe (fig. 114). Si le tronçonnage n'est pas complet, l'outil a exécuté une **gorge.**

L'outil utilisé présente la forme exacte de l'outil pelle mais sa largeur est plus petite.

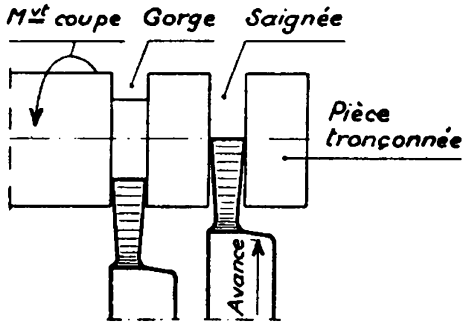


Fig 114_ *Outil à tronçonner.*

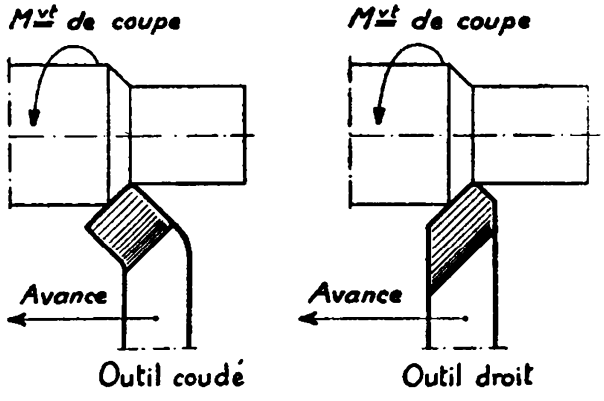


Fig 115_ *Outils à charioter.*

B. Outil à charioter

Le chariotage consiste à réaliser un cylindre ou un cône par déplacement de l'outil suivant une génératrice de la surface (fig. 115).

Que l'outil à charioter soit droit ou coudé, sa partie active présente les mêmes caractéristiques que celles de l'outil pelle (leçon précédente, fig. 112 et 113).

C. Outil couteau ou de côté

On appelle *épaulement* une surface annulaire contre laquelle vient buter une pièce qui peut glisser sur un cylindre (fig. 116).

Après chariotage, il reste une partie tronconique (fig. 115) qu'il faut faire disparaître pour obtenir un épaulement. Dans ce but, on peut employer un outil pelle disposé selon la figure 117, mais une telle disposition de l'outil se prête mal à son montage.

Il est préférable d'utiliser un outil couteau, ou de côté (fig. 118), dont la partie

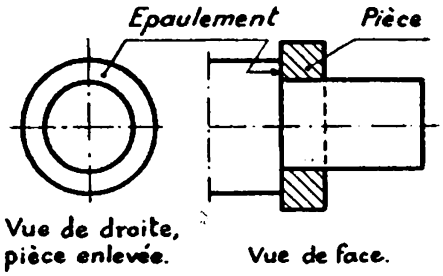


Fig 116 - *La pièce bute contre la surface annulaire qui constitue l'épaulement.*

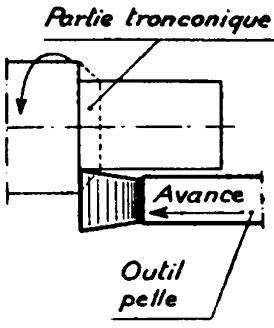


Fig 117 - *Exécution d'un épaulement à l'outil pelle.*

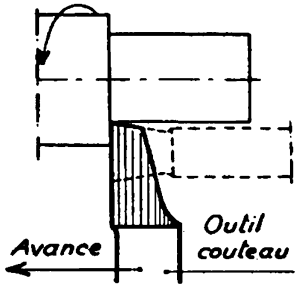


Fig 118 - *Exécution d'un épaulement à l'outil couteau.*

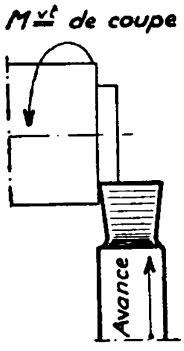


Fig 119 - *Surfaçage à l'outil pelle.*

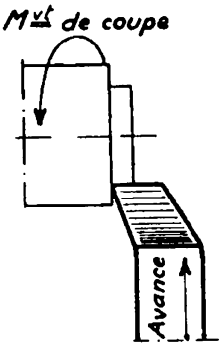


Fig 120 - *Surfaçage à l'outil à surfacer.*

active est identique à celle de l'outil pelle et qui, par conséquent, travaille dans les mêmes conditions.

D. Outil à surfacer

Surfacer, c'est réaliser une surface plane.

Pour réaliser ce travail on emploie l'outil pelle (fig. 119) ou l'outil à surfacer normalisé (fig. 120) qui, renvoyé, présente une partie active identique à celle d'un outil pelle dont un coin aurait été enlevé par meulage.

II. — OUTILS D'INTÉRIEUR

De même que pour le tournage extérieur, nous n'étudierons que les outils destinés à la réalisation de surfaces élémentaires simples.

A. Outil à rainurer

La partie active de l'outil à rainurer est identique à celle de l'outil à tronçonner et travaille dans les mêmes conditions (fig. 121 et 122).

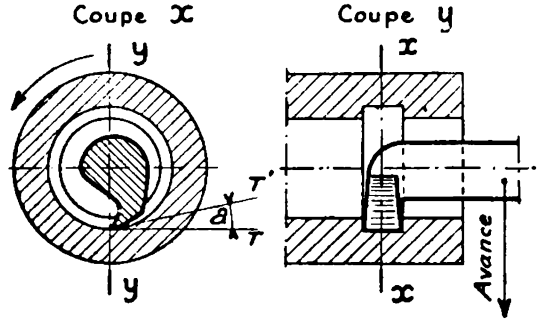


Fig 121 - *Outil à rainurer, ou à gorge intérieure, forgé.*

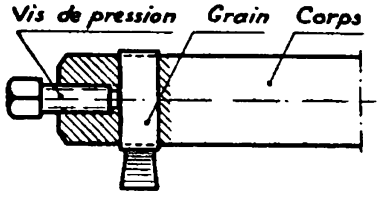
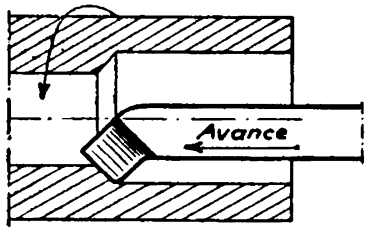


Fig 122 - *Outil à rainurer à "grain" rapporté.*

Il faut remarquer que la surface en dépouille est curviligne pour éviter le frottement du talon de l'outil contre la surface usinée. L'angle a est compris entre la tangente T à la circonférence définie par le fond de la rainure et la tangente T' à la surface en dépouille.



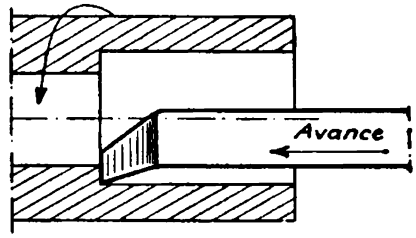


Fig 123. *Outil à aléser.* Fig 124. *Outil d'intérieur à dresser.*

B. Outil à aléser

L'outil à aléser (fig. 123) a exactement la forme de l'outil à charioter. D'ailleurs le travail d'alésage est un travail de chariotage.

C. Outil d'intérieur à dresser

Lorsque le fond de l'alésage doit être perpendiculaire à l'axe, il faut faire disparaître le tronc de cône laissé par l'outil à aléser. On fait alors usage de l'outil d'intérieur à dresser (fig. 124) qui rappelle la forme de l'outil couteau utilisé pour l'exécution d'un épaulement.

Remarque. — Les outils de tournage extérieur peuvent être employés pour les travaux de rabotage (fig. 125). Leur mode d'action est le même qu'en tournage.

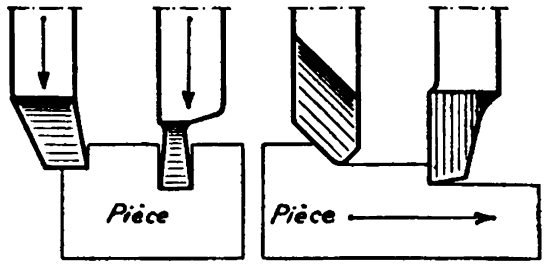


Fig 125. *Outils de rabotage.*

III. — ANGLES CARACTÉRISTIQUES

La valeur des angles caractéristiques d'affûtage est mesurée suivant une vue de la partie active coupée par un plan de trace normale à l'arête coupante. La figure 126 montre comment on obtient ces angles sur l'outil pelle, l'outil à charioter et l'outil couteau.

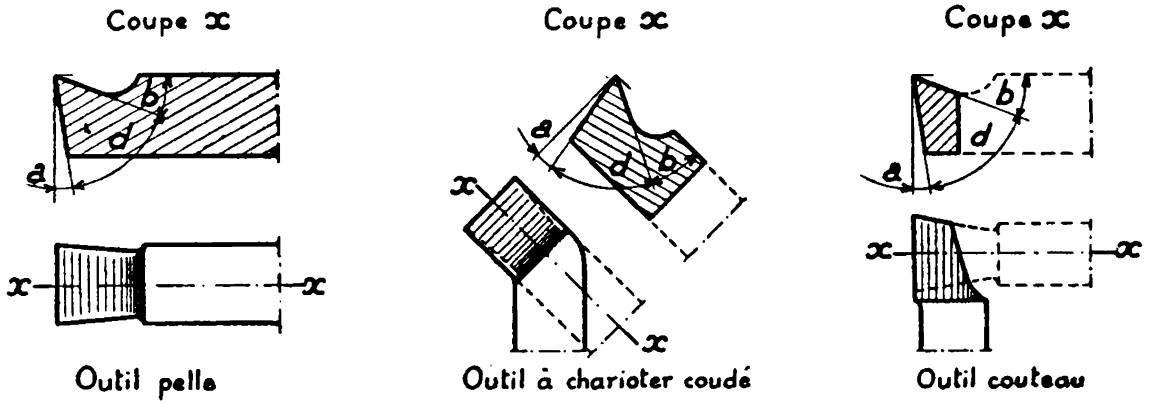


Fig 126. *Angles caractéristiques d'affûtage d'un outil pelle, d'un outil à charioter et d'un outil couteau.*

On ferait de même pour les outils à dresser, à aléser et à surfacer.

Résumé

Les outils peuvent être classés en *outils d'extérieur* et en *outils d'intérieur*.

A) OUTILS D'EXTERIEUR

***Outil à saigner.* — L'outil à saigner, employé pour tronçonner une pièce ou pour réaliser une gorge, est un outil pelle d'épaisseur réduite. Son avance est perpendiculaire à l'axe de la pièce.**

***Outil à charioter.* — Pour réaliser un cylindre ou un cône, l'outil utilisé est un outil à charioter *droit* ou *coudé*. Dans son avance, l'outil suit une génératrice de la surface.**

***Outil couteau ou de côté.* — Il permet la réalisation d'épaulements et s'emploie le plus souvent après l'outil à charioter.**

***Outil à surfacer.* — On obtient une surface plane au tour à l'aide d'un outil à surfacer. L'avance de l'outil est perpendiculaire à l'axe de la pièce.**

B) OUTILS D'INTERIEUR

***Outil à rainure.* — Il ne diffère de l'outil à saigner que par le coude de sa partie active. La face en dépouille est curviligne pour éviter une détérioration du fond de la gorge.**

***Outil à aléser.* — Sa forme et son emploi sont identiques à ceux de l'outil à charioter.**

***Outil d'intérieur à dresser.* — Lorsque le fond de l'alésage est plan on fait usage, après emploi de l'outil à aléser, d'un outil à dresser. Sa partie active rappelle celle de l'outil couteau.**

Les outils d'extérieur précédents sont employés indifféremment pour les travaux de tournage et les travaux de rabotage.

La mesure des angles caractéristiques d'affûtage d'un outil se fait sur une coupe de la partie active suivant un plan de trace normale à l'arête coupante. L'arête coupante est alors vue en long, sous un point.

L'USINAGE DES MÉTAUX (Suite)

Les outils décrits dans les leçons précédentes sont à une seule arête coupante. Il existe des outils à plusieurs arêtes tranchantes : la fraise et le foret hélicoïdal.

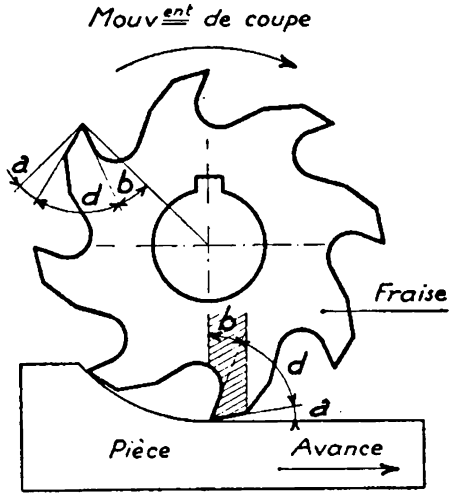


Fig 127. *Angles caractéristiques et forme de l'outil fraise.*

I. — FRAISE

L'outil fraise (fig. 127) est constitué par un cylindre dans lequel sont taillées des dents. Chaque dent peut être considérée comme un outil pelle à mouvement de coupe rotatif. Cette assimilation est plus nette dans le cas des fraises à lames amovibles, conçues dans le même esprit que les outils de tour à élément actif rapporté.

Les angles caractéristiques se déterminent de la même façon que pour l'outil pelle. Ils sont compris dans un angle droit formé par le rayon et sa perpendiculaire, issus de l'arête coupante.

La pièce est animée d'un mouvement lent de translation : l'avance.

II. — FORET HÉLICOÏDAL

Le **foret hélicoïdal,** ou **mèche américaine,** outil de perçage moderne, dérive du foret ancien appelé **mèche à langue d'aspic,** dont nous allons étudier l'évolution.

A. Mèche à langue d'aspic

Cet outil (fig. 128) est obtenu par aplatissement par forgeage d'une tige d'acier, puis par meulage de l'extrémité suivant deux arêtes coupantes inclinées formant une pointe.

La mèche à langue d'aspic primitive, mue à la main à l'aide d'un *archet*, était animée d'un mouvement de coupe circulaire alternatif. Chacun des biseaux formant l'arête coupante avait la même inclinaison et devenait alternativement face d'attaque ou face en dépouille suivant le sens du mouvement. Un tel outil usait le métal plutôt qu'il ne le coupait : il en résultait une détérioration rapide des arêtes coupantes et une production très réduite.

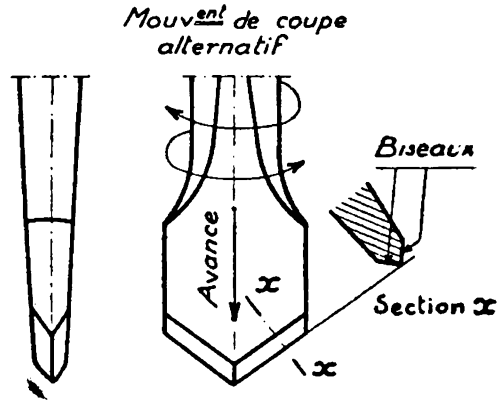


Fig 128 - *Mèche à langue d'aspic primitive.*

Un meilleur rendement de l'outil est obtenu en donnant à la mèche un angle de pente d'affûtage (fig. 129) et un mouvement de coupe continu à l'aide d'un vilebrequin ou d'une commande mécanique.

L'outil se comporte alors comme deux outils à charioter accolés tournant autour de l'axe de rotation de la mèche.

Les perçages obtenus sont peu précis car la lame n'est maintenue latéralement que dans une seule direction (fig. 130). De plus, l'axe du trou s'incline progressivement : on dit que le trou *coule*.

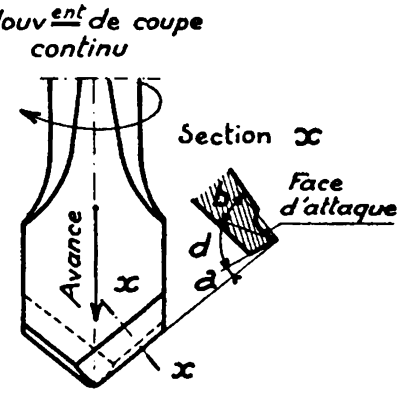


Fig 129 - *Mèche à langue d'aspic avec pente d'affûtage.*

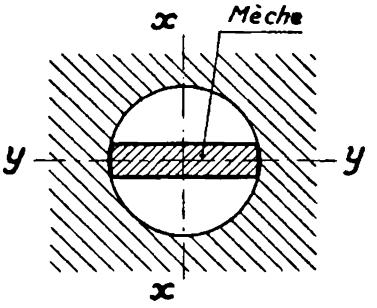


Fig 130 - *La lame, maintenue dans la direction y y, ne l'est pas dans la direction x x.*

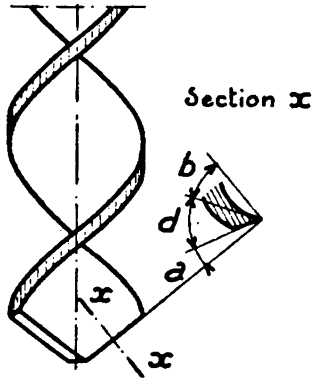


Fig 131 - *Mèche à lame torse.*

L'affûtage est délicat à cause de la disparition rapide de la face d'attaque initiale (fig. 129).

B. Mèche à lame torse

Pour conserver à l'angle de pente d'affûtage une valeur sensiblement constante, on a imaginé de torsader à chaud une lame d'acier. La mèche, dite à **lame torse**, ainsi obtenue, a deux lèvres en forme d'hélice (fig. 131). On l'affûte par simple meulage de la face en dépouille.

Cet outil manque de rigidité et donne des trous *coulés*.

C. Foret hélicoïdal

Dans une tige d'acier tournée sont taillées deux rainures hélicoïdales dont l'inclinaison est régulière, ce qui conduit à un angle de pente d'affûtage constant. L'affûtage se fait sur la face en dépouille (fig. 132).

Les trous ne *coulent* plus car l'outil est rigide.

Nous avons vu (15e leçon) que pour la coupe du bronze et du laiton, l'angle de pente d'affûtage doit être nul. C'est la raison pour laquelle les forets destinés au perçage de ces métaux sont à cannelures droites (fig. 133).

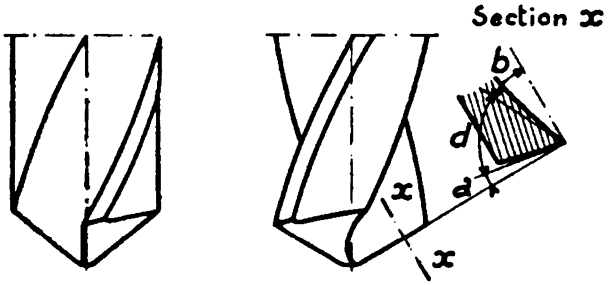


Fig 132 - *Foret hélicoïdal*

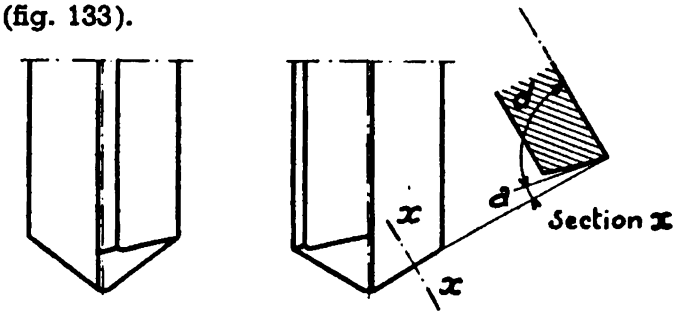


Fig 133 - *Foret à cannelures droites pour le bronze et le laiton.*

D. Fraise à pilote

Parmi les outils de perçage, on peut classer la **fraise à pilote** (fig. 134). On l'utilise pour exécuter des **chambrages**, c'est-à-dire des évidements concentriques à un trou.

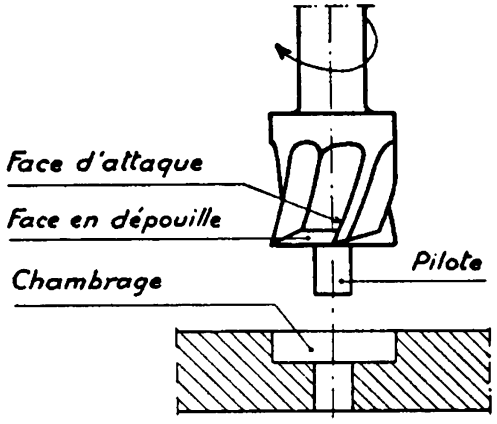


Fig 134 - *Fraise à pilote et chambrage.*

La partie active de l'outil est constituée par un cylindre portant quatre rainures hélicoïdales. Les arêtes coupantes peuvent être perpendiculaires à l'axe de l'outil ou inclinées sur l'axe; dans ce dernier cas, l'outil exécute une fraisure.

Un pilote, fixe ou amovible, pénètre dans le trou et guide la fraise pendant sa descente.

Remarque. — Dans le perçage à la perceuse, l'outil reçoit le mouvement de coupe et l'avance, la pièce est fixe.

Résumé

***La fraise* et *le foret* sont des outils à arêtes coupantes multiples.**

a) *Fraise.* — C'est un outil de coupe constitué par un cylindre d'acier dans lequel sont taillées des dents. Chaque dent peut être considérée comme un outil pelle à mouvement de coupe rotatif.

Les angles caractéristiques sont contenus dans un angle droit déterminé par un rayon et sa perpendiculaire issus de l'arête coupante.

Certaines fraises sont à lames amovibles.

Dans le fraisage, la pièce reçoit le mouvement d'avance.

b) *Foret.* — Les forets anciens, ou *mèches à langue d'aspic*, sont obtenus par forgeage. Leur affûtage est délicat, leur guidage défectueux, leur rendement faible.

***Le foret à lame torse* est d'un affûtage plus facile, mais son manque de rigidité n'assure pas des perçages précis.**

Tous ces outils sont aujourd'hui abandonnés et remplacés par le *foret hélicoïdal.*

Cet outil de perçage moderne s'affûte par meulage des faces en dépouille. Sa rigidité satisfaisante et son bon guidage assurent des percages précis.

Les forets pour le perçage du bronze et du laiton sont à cannelures droites.

***La fraise à pilote* peut être comparée à un foret hélicoïdal à quatre cannelures. Elle est employée pour l'exécution de chambrages.**

L'USINAGE DES MÉTAUX (Suite)

LE GRATTAGE

Les outils précédemment étudiés (outils de tour, fraises, forets) produisent des **copeaux taillés** dont l'épaisseur minimum est souvent supérieure à celle qu'on laisse pour le parachèvement de certaines surfaces.

On est conduit alors à utiliser des **grattoirs** qui donnent des copeaux très minces appelés **copeaux grattés.**

A. Copeau gratté

Examinons deux outils pelles (fig. 135) affûtés avec des angles de tranchant différents et posés sur une pièce comme l'indique la figure.

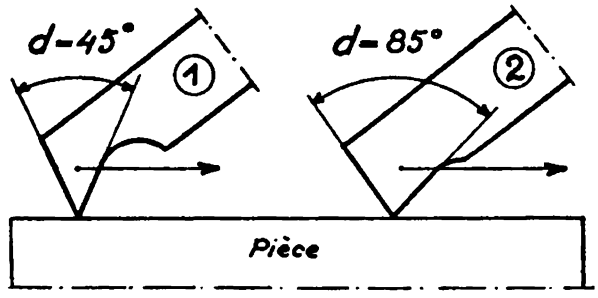


Fig 135_ *Principe de l'obtention du copeau gratté.*

Pour une même pression, l'outil 1 , plus aigu, pénètre plus profondément dans le métal que l'outil 2.

Si chaque outil est déplacé suivant le sens des flèches, le métal se détache, par grattage de l'arête coupante, sous la forme de copeaux très minces; ce sont des copeaux grattés.

Mais les copeaux détachés par l'outil 1 sont plus épais que ceux détachés par l'outil 2 qui s'enfonce moins profondément dans le métal.

D'autre part, en poussant l'expérience assez longtemps, on constate que l'arête coupante de l'outil 1 s'use plus vite que celle de l'outil 2.

Nous pouvons donc conclure que le copeau gratté est d'autant plus mince et que l'outil coupe d'autant plus longtemps que l'angle de tranchant de l'outil est plus grand.

B. Grattoir pour surface plane

Les outils employés pour l'expérience ci-dessus seraient mal adaptés au travail de grattage.

Une partie active large et amincie par forgeage (fig. 136) est plus commode. Un manche en facilite la tenue.

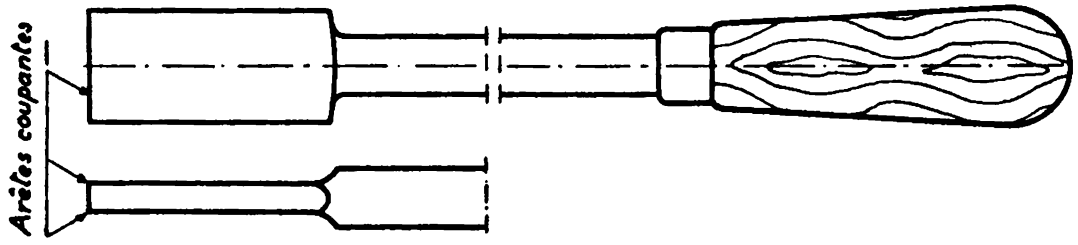


Fig 136_ *Grattoir plat forgé pour "travail en poussant"*

L'arête coupante doit être rectiligne afin de ne pas creuser des sillons dans la surface.

Le grattage étant un travail de finition, la surface grattée doit avoir un bel aspect. Ce résultat ne peut être obtenu que si l'affûtage à la meule est suivi d'un parachèvement à la pierre à huile qui donne à l'arête coupante une grande finesse.

C. Grattage en poussant

Le grattoir *en poussant* (fig. 137), ou grattoir *en bout*, travaille avec un angle de dépouille **a** de 20° environ et un angle de tranchant **d** de 90°. L'angle de pente d'affûtage **b** vaut 20° environ et déborde l'angle droit A. On a : $\mathbf{a} + \mathbf{d} - \mathbf{b} = 90°$.

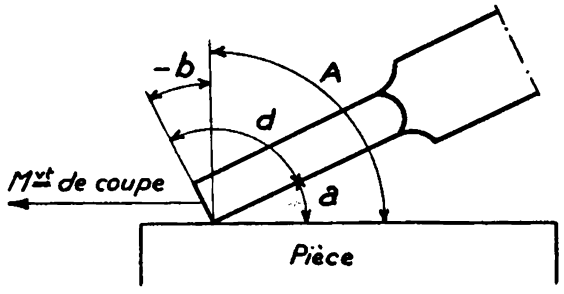


Fig 137 - *Mode d'action du grattoir "en poussant"*

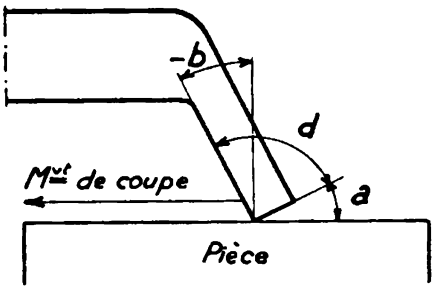


Fig 138 - *Mode d'action du grattoir "en tirant"*

L'expérience a prouvé qu'on obtient avec ces angles un copeau mince et une arête coupante durable.

D. Grattage en tirant

Il existe des grattoirs *en tirant* (fig. 138), ou grattoirs coudés. Ils ne diffèrent des précédents que par la forme de leur corps mais leur mode d'action est identique.

E. Lame rapportée

Quel que soit le type de grattoir on évite le forgeage en adaptant à une monture une lame amovible (fig. 139).

F. Examen et mesure du copeau gratté

Un copeau gratté se présente à l'œil sous la forme d'un fil très fin, quelquefois sous forme de poussière.

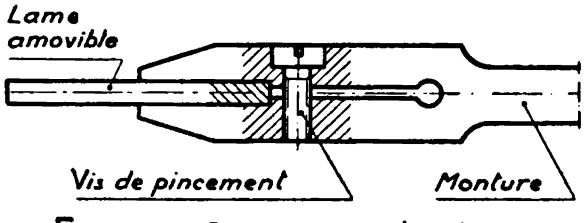


Fig 139 - *Grattoir en bout avec lame amovible.*

L'examen au microscope montre qu'il est ondulé. Le copeau de fonte est court (fig. 140), le copeau d'acier (fig. 141) est recourbé et a tendance à s'enrouler.

L'épaisseur d'un copeau gratté est de l'ordre de quelques microns. Le copeau de fonte est plus mince que le copeau d'acier et ne peut être enlevé

Fig 140. *Copeau de fonte vu au microscope.*

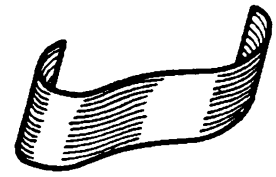


Fig 141. *Copeau d'acier doux vu au microscope.*

que par un outil d'une grande dureté et d'une grande finesse d'arête.

Etant donné la faible épaisseur du copeau gratté :

1° le grattage n'est pas un procédé d'usinage de production;

2° le grattage supprime les petits défauts laissés sur une surface usinée à l'outil de coupe.

Résumé

L'enlèvement de copeaux très minces nécessite l'emploi de *grattoirs*.

a) *Mode d'action du grattoir.* — Le grattoir travaille avec un angle de dépouille de 20°, un angle de tranchant de 90° et un angle de pente d'affûtage négatif de — 20°. Il ne peut donc pas pénétrer profondément dans le métal et détache un copeau très mince.

Pour que l'outil coupe convenablement, il faut que l'arête coupante ait une grande finesse, ce qui nécessite un affûtage à la pierre à huile.

b) *Différents grattoirs.* — Le grattoir *en poussant* et le grattoir *en tirant* ont le même mode d'action.

Ils peuvent être formés par forgeage ou constitués par une lame amovible fixée sur un corps.

c) *Mesure du copeau gratté.* — L'épaisseur du copeau gratté est de l'ordre de quelques microns. Les copeaux de fonte sont plus minces que les copeaux d'acier.

On utilise le grattage pour supprimer les petits défauts laissés sur une surface usinée à l'outil de coupe.

L'USINAGE DES MÉTAUX (Fin)

L'OUTIL-MEULE

L'usage de la meule pour le travail des métaux est connu depuis longtemps.

Les premières meules étaient taillées dans du grès, pierre naturelle assez friable dont les grains très durs constituent l'**abrasif.** Ce sont les grains d'abrasif qui coupent le métal.

A. Examen de la cassure d'une meule

Les meules actuelles, employées dans les ateliers de mécanique, sont des meules artificielles. A l'examen, la cassure d'une meule (fig. 142) présente :

— **des grains d'abrasif,** qui constituent la partie active de la meule;

— **des pores,** ou vides, qui se trouvent entre les grains.

Les grains sont reliés les uns aux autres par un **agglomérant** que l'œil nu ne peut distinguer.

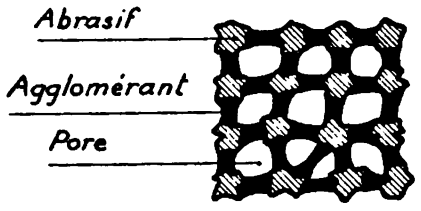


Fig 142 - *Cassure d'une meule très grossie.*

Pour fixer les idées comparons la meule à la lime : les pointes des dents de la lime représentent les arêtes vives des grains d'abrasif, la distance entre les dents et la profondeur de taille représentent la grosseur des pores.

A une **lime à grosse taille** correspond une **meule à gros grains et à gros pores,** à une **lime à taille fine** correspond une **meule à grains fins et à petits pores.**

B. Mode d'action d'une meule

Les grains d'abrasif qui se trouvent sur la périphérie de la meule coupent le métal parce qu'ils présentent des arêtes vives.

De même qu'un outil s'émousse en travaillant, les arêtes vives des grains s'arrondissent et la meule ne coupe plus. Il s'ensuit une augmentation du frottement meule-pièce et les grains usés se détachent, mettant à jour des grains neufs à arêtes vives et ainsi de suite.

On peut donc considérer la meule comme un outil à tranchants multiples : chaque grain représente un outil élémentaire, l'agglomérant joue le rôle du corps support d'outil.

C. Examen des copeaux meulés

Meulons successivement de l'acier rapide et de l'acier doux sur une meule à gros grains, recueillons les produits du meulage sur une feuille de carton, trions les copeaux à l'aide d'un aimant et observons-les à l'œil nu.

Les copeaux d'acier rapide se présentent sous la forme d'une poussière très fine et les copeaux d'acier doux sous la forme de grains plus gros.

Examinés au microscope, les copeaux d'acier rapide sont à peu près sphériques (fig. 143) tandis que ceux d'acier doux (fig. 144) sont allongés, sinueux et hérissés de pointes.

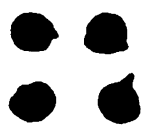


Fig 143_ *Copeaux meulés d'acier rapide vus au microscope.*

Fig 144_ *Copeau meulé d'acier doux vu au microscope.*

En général, les copeaux meulés se présentent sous la forme de copeaux grattés. Ils sont :

— **courts,** parce que chaque grain de la meule est en contact avec le métal pendant un temps très bref;

— **minces,** parce qu'il y a une grande quantité de grains en contact en même temps avec la pièce.

D. Forme des meules

La forme d'une meule est déterminée par celle de la pièce à meuler. Les formes standard simples sont données par le tableau ci-après (tableau n° 4).

Les meules plates sont employées pour l'usinage des surfaces planes, cylindriques, ou coniques. Elles travaillent avec leur champ.

Pour l'affûtage des fraises, des tarauds, des alésoirs, on utilise des meules *assiette*, des meules *soucoupe*, ou des meules *boisseau*. Elles travaillent par leur face perpendiculaire à l'axe.

Les **bâtons,** de même composition que les meules, ont des sections diverses : carrée, triangulaire, ronde, demi-ronde, et une forme générale cylindrique ou conique. On les trouve dans le commerce sous le nom de pierres *India*. On les utilise à la main pour des affûtages ou des retouches sur des pièces trempées.

Les bâtons parallélépipédiques sont appelés *briques*.

E. Montage des meules

En raison de leur grande vitesse de rotation, les meules présentent de graves dangers.

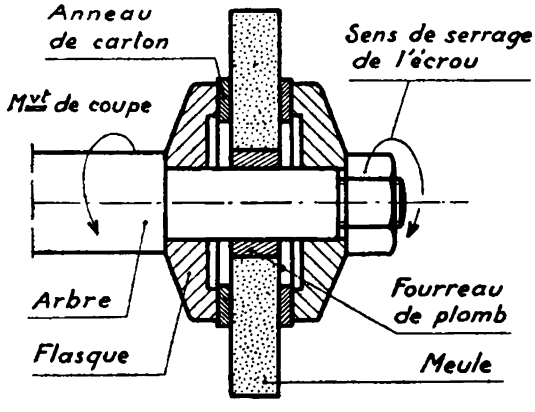


Fig 145_ *Montage d'une meule plate.*

Avant montage, *sonner* la meule avec un petit marteau pour s'assurer qu'elle n'est pas fêlée. Une meule non fêlée rend un son clair.

Le montage (fig. 145) demande un soin méticuleux :

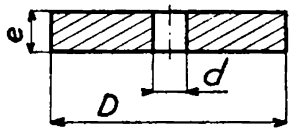
— s'assurer que la meule glisse librement et sans jeu sur l'arbre porte-meule;

— intercaler entre les flasques et la meule un anneau de carton mince afin d'assurer une meilleure répartition de la pression de contact;

— assujettir par un écrou de blocage qui se

Meule plate

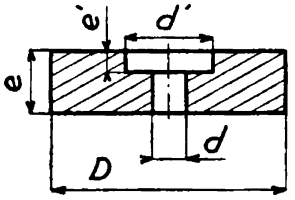
D x e x d



Meule plate à 1 ou 2 embrèvements

D x e x d

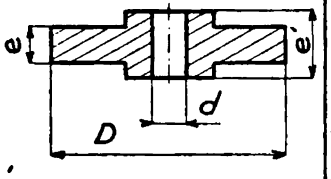
Mentionner e' et d'



Meule à 1 ou 2 moyeux

D x e x d

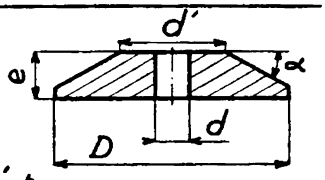
Mentionner e'



Meule conique

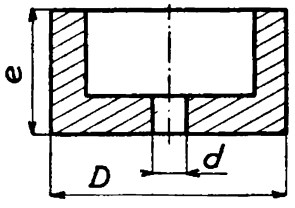
D x e x d

Mentionner d' et ∝



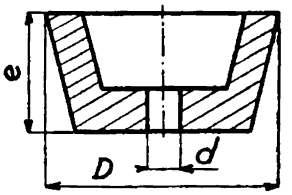
Meule boisseau cylindrique

D x e x d



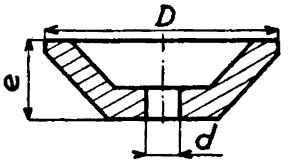
Meule boisseau conique

D x e x d



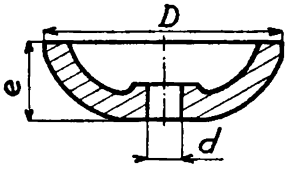
Meule assiette

D x e x d



Meule soucoupe

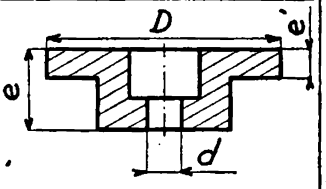
D x e x d



Meule désaxée

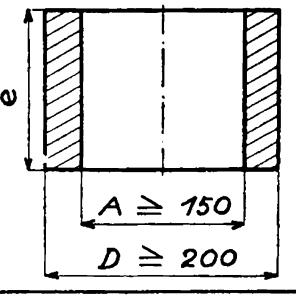
D x e x d

Mentionner e'

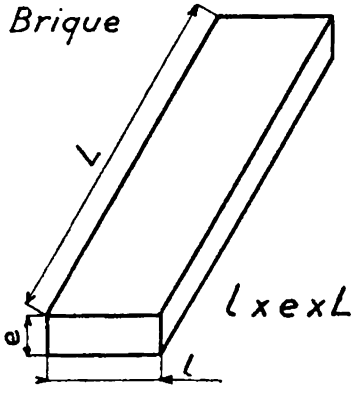


Meule cylindre ou annulaire

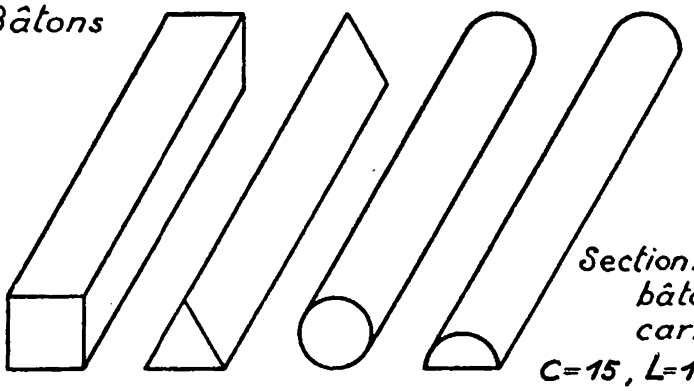
D x e x A



Brique



Bâtons



Section x L bâton carré

C=15, L=150

Tableau N°4 _ *Formes courantes des meules et leurs dimensions.*

visse en sens contraire du mouvement de coupe pour éviter le desserrage par inertie au moment du démarrage.

Après montage, laisser tourner la meule à vide pendant une minute environ en évitant de se placer dans son *champ*.

Résumé

Les *abrasifs* sont des matériaux à grains très durs pouvant attaquer les métaux.

Les grains d'abrasif, réunis les uns aux autres par un *agglomérant* constituent les *meules*. Les grains sont séparés les uns des autres par des *pores*.

Les grains d'abrasif disposés à la périphérie de la meule coupent le métal par leur arête vive. Lorsque l'arête est émoussée, le grain s'échappe et met à jour un grain neuf. Ainsi l'affûtage de la meule se renouvelle sans cesse.

Les copeaux meulés se présentent sous forme de poussière. Ils sont minces et courts : ce sont des *copeaux grattés*.

La forme des meules est déterminée par la forme des pièces à meuler. Parmi les formes standard simples on distingue : les meules plates, les meules *assiette*, les meules *soucoupe* et les meules *boisseau*. Les bâtons, utilisés à la main, sont de même constitution que les meules.

Le montage des meules doit être effectué avec soin afin de diminuer les risques d'accident.

VITESSE DE COUPE

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE MOUVEMENT ET DE VITESSE

On appelle **mobile** un corps qui se déplace sous l'action d'une force.

Ex. : Le cycliste en marche, le caillou lancé par la fronde, l'outil d'étau-limeur au travail, la poulie qui tourne, sont des mobiles.

A. Trajectoire d'un mobile

La trace laissée sur le sol (fig. 146) par les roues du cycliste, la ligne imaginaire décrite par le caillou dans l'espace (fig. 147) sont les trajectoires de ces deux mobiles.

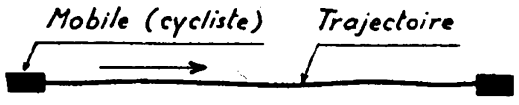


Fig 146. *Trajectoire du cycliste. Elle peut être visible sur le sol.*

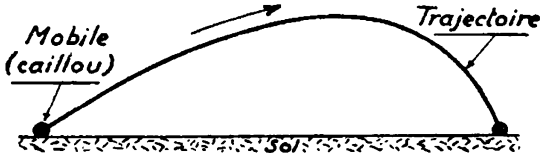


Fig 147. *Trajectoire du caillou. C'est une ligne imaginaire.*

La trajectoire de l'outil d'étau-limeur est une **trajectoire rectiligne.** Elle est matérialisée par les sillons **droits** et parallèles laissés par l'outil sur la face rabotée.

La trajectoire d'un point de la poulie en mouvement, ou d'une manivelle, ou d'une fraise est une **trajectoire circulaire.**

B. Mouvement varié et vitesse moyenne

Le cycliste qui va de A en D (fig. 148) parcourt d'abord la distance AB, qui est en *palier*, avec facilité, monte la côte BC avec difficulté, puis descend la côte CD à vive allure.

Supposons qu'il ait mis 4 minutes pour aller de A en B, 6 minutes pour aller de B en C et 2 minutes pour aller de C en D. Les distances égales (chacune vaut 1800 *m*) sont parcourues par le cycliste dans des temps inégaux : son mouvement est un **mouvement varié.**

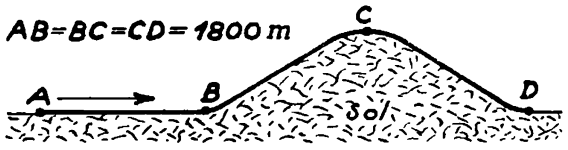


Fig 148. *La vitesse moyenne du mobile est le quotient de la distance AD par le temps mis à la parcourir.*

La **vitesse moyenne** du cycliste est $\frac{5400\ m}{12\ mn} = 450$ mètres par minute, soit 27 kilomètres à l'heure.

La relation qui permet de calculer la vitesse moyenne d'un mobile est donc :

$$\text{Vitesse moyenne} = \frac{\text{Espace parcouru}}{\text{Temps du parcours}} \qquad \text{ou } V = \frac{e}{t}.$$

C. Mouvement rectiligne uniforme

Admettons que le cycliste se déplace suivant une trajectoire rectiligne et qu'il parcoure la même distance pendant chaque unité de temps, soit 7,50 mètres par seconde, ou 450 mètres par minute, ou encore 27 kilomètres par heure. Son mouvement est un **mouvement rectiligne uniforme et sa vitesse, dite vitesse linéaire, est la distance parcourue pendant l'unité de temps.**

A l'atelier, nous prendrons comme unité de mesure des espaces le mètre — *m* — et pour unité de mesure des temps la minute — *mn* —. L'unité de mesure de la vitesse est alors le mètre par minute — *m/mn*.

$$\text{On a : } V\ m/mn = \frac{e\ m}{t\ mn}.$$

D. Mouvement circulaire uniforme

Dans le **mouvement circulaire uniforme,** il faut distinguer :

— la **vitesse de rotation;**

— la **vitesse linéaire** ou **vitesse circonférentielle.**

1° Vitesse de rotation. — Par définition, la vitesse de rotation d'un mobile animé d'un mouvement circulaire uniforme est le nombre de tours N fait par le mobile pendant l'unité de temps.

L'unité de mesure du temps étant la minute, l'unité de mesure de la vitesse de rotation est le tour par minute — *tr/mn*.

Ex : Une poulie a une vitesse de rotation de 150 *tr/mn*, une meule fait 2 500 *tr/mn*, un foret tourne à 800 *tr/mn*.

Il faut remarquer que **la vitesse de rotation est la même pour tous les points du corps en mouvement.**

2° Vitesse linéaire d'un point en mouvement circulaire uniforme. — Considérons une mèche à pilote (fig. 149) ayant une vitesse de rotation de 250 *tr/mn*.

Le point A, pris à l'extrémité d'une arête coupante, décrit une circonférence de diamètre D = 20 *mm*. Dans une minute, l'espace e parcouru par ce point est donc :

$$e = \pi \times D \times N = 3{,}14 \times 20 \times 250 = 15\,700\ mm.$$

Le diamètre est donné en *mm* (unité de mesure des longueurs en mécanique). Pour obtenir la **vitesse linéaire en** *m* (unité de mesure de l'espace) il faut diviser le produit précédent par 1 000 et on a :

$$V_A = \frac{\pi DN}{1\,000} = \frac{3{,}14 \times 20 \times 250}{1\,000} = 15{,}70\ m/mn.$$

De même, la vitesse linéaire du point B pris sur la surface cylindrique du pilote est :

$$V_B = \frac{\pi dN}{1\,000} = \frac{3{,}14 \times 10 \times 250}{1\,000} = 7{,}85\ m/mn.$$

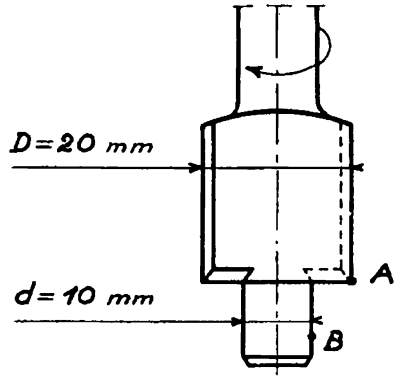


FIG 149_ *La vitesse linéaire du point A est double de celle du point B.*

La vitesse linéaire en mouvement circulaire uniforme est donnée par la relation fondamentale suivante :

$$V\ m/mn = \frac{\pi DN}{1\,000}, \qquad D \text{ étant exprimé en } mm.$$

Remarques. — 1° La distance de A à l'axe de rotation étant double de celle de B, la vitesse linéaire du point A est double de celle de B.

2° Si nous voulons que la vitesse du point B soit égale à 15,70 *m/mn*, nous calculerons la vitesse de rotation nécessaire.

La relation $V\ m/mn = \frac{\pi DN}{1\,000}$ donne $N\ tr/mn = \frac{1\,000\,V}{\pi D} = \frac{1\,000 \times 15{,}70}{3{,}14 \times 10} = 500\ tr/mn.$

Ce résultat montre que si la distance d'un point B à l'axe de rotation est 2 fois plus petite que celle d'un point A, la vitesse de rotation de B doit être 2 fois plus grande que celle de A pour que les deux points aient la même vitesse linéaire.

Résumé

Un *mobile* est un corps en mouvement.

La *trajectoire* d'un mobile est la ligne imaginaire décrite par un point du mobile. Elle fixe la nature du mouvement.

Les mouvements des organes mécaniques sont généralement des *mouvements rectilignes* ou des *mouvements circulaires*.

a) *Mouvement varié et vitesse moyenne*. — Un mobile a un *mouvement varié* lorsqu'il parcourt des espaces égaux dans des temps inégaux.

La vitesse moyenne d'un tel mouvement est égale au quotient de l'espace e *m* parcouru par le temps de parcours t *mn*.

$$V\ m/mn = \frac{e\ m}{t\ mn}.$$

b) *Mouvement uniforme*. — Un mobile est animé d'un *mouvement uniforme quand les espaces parcourus dans des temps égaux sont égaux*.

La vitesse linéaire du mouvement uniforme est l'espace e *m* parcouru pendant l'unité de temps : la minute à l'atelier.

$$V\ m/mn = \frac{e\ m}{t\ mn}.$$

c) *Mouvement circulaire uniforme*. — Dans ce mouvement :

- **la *vitesse de rotation* s'exprime en nombre de tours par minute — *tr/mn*. Elle est la même pour tous les points du mobile ;**
- **la *vitesse linéaire*, ou *circonférentielle*, d'un point du mobile s'exprime en mètres par minute — *m/mn* — et se calcule par la relation : $V\ m/mn = \frac{\pi DN}{1\,000}$**

dans laquelle D est le diamètre en *mm* de la circonférence décrite par le point et N son nombre de tours par minute.

De cette relation on tire : $N\ tr/mn = \frac{1\,000\,V}{\pi D}$ ou encore $D\ mm = \frac{1\,000\,V}{\pi N}$.

VITESSE DE COUPE (Suite)

A. Définition de la vitesse de coupe

Nous ne considérerons, dans le travail de coupe, que la vitesse moyenne et nous évaluerons cette vitesse en **mètres par minute :**

$$V\ m/mn = \frac{e\ m}{t\ mn}.$$

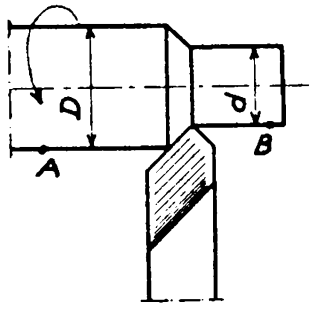


Fig 150 - $V_A > V_B$

Soit un outil de tour (fig. 150) au travail. La pièce a un mouvement de coupe circulaire uniforme et une vitesse de rotation N *tr/mn*.

La vitesse linéaire du point A est : $V_A\ m/mn = \frac{\pi DN}{1\,000}$.

La vitesse linéaire du point B est : $V_B\ m/mn = \frac{\pi dN}{1\,000}$.

On a évidemment $V_A > V_B$.

Les vitesses V_A et V_B sont les vitesses extrêmes des points de la pièce en contact avec l'outil.

Considérons deux points différents de la même arête coupante d'un foret (fig. 151).

A décrit une circonférence de diamètre D et B décrit une circonférence de diamètre d.

Vitesse linéaire de A : $V_A\ m/mn = \frac{\pi DN}{1\,000}$.

Vitesse linéaire de B : $V_B\ m/mn = \frac{\pi dN}{1\,000}$.

On a encore $V_A > V_B$.

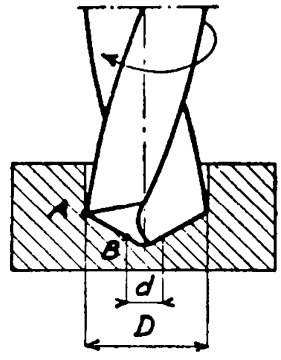


Fig 151 - $V_A > V_B$.

Les vitesses V_A, plus grandes que les vitesses V_B, sont les seules à considérer. Ce sont les **vitesses de coupe** de l'outil de tour ou du foret.

On appelle **vitesse de coupe, la vitesse en mètres par minute d'un point de la surface travaillée si la pièce est animée du mouvement de coupe, ou d'un point de l'arête coupante lorsque l'outil reçoit le mouvement de coupe.**

Dans le mouvement circulaire **il faut considérer le point le plus éloigné de l'axe de rotation.**

B. Relation donnant V pour le tour, la perceuse et la fraiseuse

Si nous désignons par D le diamètre de la pièce avant passage de l'outil, ou le diamètre du foret, ou le diamètre de la fraise, nous aurons :

$$V\ m/mn = \frac{\pi DN}{1\,000}.$$

Applications :

1° Une pièce de tour d'un diamètre brut de 50 *mm* tourne à 160 *tr/mn*. Quelle est la vitesse de coupe de l'outil?

$$V = \frac{\pi DN}{1\,000} = \frac{3{,}14 \times 50 \times 160}{1\,000} = 25{,}12\ m/mn \simeq 25\ m/mn.$$

2° L'ouvrier est le plus souvent placé devant le problème suivant : il connaît la vitesse de coupe à laquelle l'outil doit travailler et le diamètre brut de la pièce ou le diamètre de l'outil (fraise ou foret).

Ex. : Un foret de 20 *mm* doit travailler à la vitesse de coupe de 15 *m/mn*. Calculez sa vitesse de rotation.

$$N = \frac{1\,000\ V}{\pi D} = \frac{1\,000 \times 15}{3{,}14 \times 20} = 239\ tr/mn \simeq 240\ tr/mn.$$

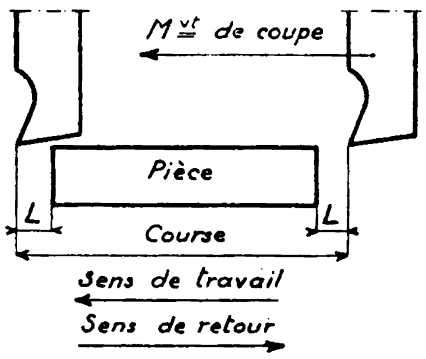


Fig 152 _ *V est constant pour chaque point de l'arête coupante*

C. Relation donnant V pour l'étau-limeur

Faisons d'abord les remarques importantes suivantes (fig. 152).

1° Un battement **b** comprend une *course travail* et une *course retour*;

2° Nous admettrons qu'une *course travail* et une *course retour* sont effectuées dans des temps égaux;

3° Le nombre de battements N est toujours donné dans une minute, soit N *b/mn*;

4° Les longueurs d'échappée L sont négligeables. On admet donc que l'outil travaille sur toute la longueur de la course.

Etablissement de la relation : Nous avons $V = \frac{e}{t}$.

L'espace e, parcouru dans une minute, est :

C (longueur de la course en *mm*) × N (nombre de battements) puisqu'à N battements correspondent N *courses travail*.

Le temps t de parcours de N *courses travail* est égal à la moitié d'une minute puisqu'il est admis qu'une *course travail* et une *course retour* sont effectuées dans des temps égaux, soit $t = \frac{1}{2}$ *mn*.

$$\text{Donc } V = \frac{CN}{\left(\frac{1}{2}\right)} = 2\ CN.$$

Divisons par 1000 pour obtenir des mètres. Finalement :

$$V\ m/mn = \frac{2\,CN}{1\,000}.$$

Applications :

1° Un étau-limeur a une course de 240 *mm* et exécute 25 battements à la minute. Calculez la vitesse de coupe de l'outil.

$$V = \frac{2\,CN}{1\,000} = \frac{2 \times 240 \times 25}{1\,000} = 12\ m/mn.$$

2° Un étau-limeur a une course de 400 *mm* et l'outil doit travailler à la vitesse de coupe de 20 *m/mn*. Calculez le nombre de battements à la minute.

De la relation $V = \frac{2\,CN}{1\,000}$ on tire $N = \frac{1\,000\,V}{2\,C}$; $N = \frac{1\,000 \times 20}{2 \times 400} = 25\ b/mn.$

Nota. — La relation précédente n'est pas tout à fait exacte puisque l'étau-limeur est à retour rapide, mais elle donne un résultat acceptable dans la pratique. Elle peut être également applicable à la raboteuse et à la mortaiseuse.

Résumé

On appelle *vitesse de coupe d'un outil, la vitesse en mètres par minute d'un point de la surface travaillée si la pièce est animée du mouvement de coupe ou d'un point de l'arête coupante lorsque l'outil reçoit le mouvement de coupe.*

Pour les pièces ou les outils animés d'un mouvement de coupe circulaire, *il faut considérer le point le plus éloigné de l'axe de rotation.*

a) Relation donnant V pour le tour, la perceuse et la fraiseuse :

$$V\ m/mn = \frac{\pi DN}{1\,000}$$ **dans laquelle :**

D = diamètre en *mm* de la pièce ou de l'outil;
N = nombre de tours-minute de la pièce ou de l'outil.

La relation transformée peut s'écrire :

$$N\ tr/mn = \frac{1000\,V}{\pi D}; \qquad D\ mm = \frac{1000\,V}{\pi N}.$$

b) Relation donnant V pour l'étau-limeur et la raboteuse :

$$V\ m/mn = \frac{2\,CN}{1\,000}$$ **dans laquelle :**

C = course en *mm* de l'outil ou de la pièce;
N = nombre de battements-minute — *b/mn* — de l'outil ou de la pièce.

De cette relation on tire :

$$N\ b/mn = \frac{1000\,V}{2\,C}; \qquad C\ mm = \frac{1000\,V}{2\,N}.$$

VITESSE DE COUPE (Suite)

I. — INFLUENCE DE LA VITESSE DE COUPE SUR LA DURÉE D'UN OUTIL

La vitesse de coupe influe beaucoup sur la durée de travail d'un outil entre deux affûtages.

Si elle est trop faible, l'outil s'use vite et, de plus, le temps d'exécution de la passe est long.

Si elle est trop forte, l'outil s'use plus vite encore et, bien que le temps d'exécution de la passe soit très réduit, la production est faible car il faut réaffûter et régler l'outil trop souvent.

Il existe une **vitesse** dite de **moindre usure** qui laisse à l'outil le maximum de durée.

II. — INFLUENCE DE LA VITESSE DE COUPE SUR LE DÉBIT D'UN OUTIL

Le débit d'un outil est le volume de copeaux produit entre deux affûtages. Ce volume est égal au produit de la longueur du copeau par sa section.

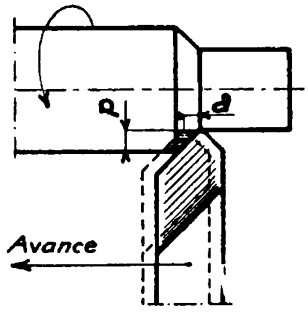


Fig 153 _ $S = p \times a$.

A. Section du copeau

Pour un tour de la pièce (fig. 153) l'outil avance de la distance **a**.

Le copeau a une section en forme de parallélogramme. Cette section S, en mm^2, est égale au produit de la profondeur de passe **p** en *mm* par l'avance **a** en *mm*.

$$S\ mm^2 = \mathbf{p}\ mm \times \mathbf{a}\ mm.$$

B. Expérience

Effectuons un travail de tournage avec une profondeur de passe de 5 *mm*, une avance de 0,5 *mm* et une vitesse de coupe de 10 *m/mn*. Le volume de copeau enlevé dans une minute est :

$$\text{section du copeau} \times \text{longueur du copeau} =$$
$$(5 \times 0{,}5) \times 10\,000 = 25\,000\ mm^3 = 0{,}025\ dm^3.$$

L'outil ne coupe plus, c'est-à-dire que **le copeau est arraché et la surface rugueuse** après 100 *mn* de travail. Il aura produit un volume de copeaux égal à : $0{,}025 \times 100 = 2{,}5\ dm^3$.

Conservons la même profondeur de passe, la même avance, mais adoptons une nouvelle vitesse de coupe : 20 *m/mn*. L'outil s'use moins vite et dure 120 *mn* avant réaffûtage. Il produit : $(5 \times 0{,}5) \times 20\,000 \times 120 = 6\,000\,000\ mm^3 = 6\ dm^3$ de copeaux.

Conservons toujours une profondeur de passe et une avance identiques, et adoptons une vitesse de coupe encore plus élevée : 30 *m/mn*. L'outil ne dure que 20 *mn* et produit un volume de copeaux de : $(5 \times 0{,}5) \times 30\,000 \times 20 = 1\,500\,000\ mm^3 = 1{,}5\ dm^3$.

Les débits obtenus : 2,5 dm^3, 6 dm^3, 1,5 dm^3, du même outil dans des conditions identiques de profondeur de passe et d'avance, et pour un **travail à sec**, montrent que la vitesse de coupe influe sur la durée de l'outil.

En répétant l'expérience pour d'autres vitesses, nous constatons que le débit maximum est 6 dm^3.

C. Définition du débit d'un outil

Le débit d'un outil est le volume de copeaux, exprimé en dm^3, que cet outil peut produire entre deux affûtages successifs.

Le débit 6 dm^3 est le plus grand débit de l'outil. Il a été obtenu pour la vitesse de 20 *m/mn* qui a provoqué la plus faible rapidité d'usure de l'outil : c'est sa vitesse de moindre usure.

Métal travaillé	*Outil en acier fondu*		*Outil en acier rapide*	
	Vitesse de moindre usure	*Débit*	*Vitesse de moindre usure*	*Débit*
Laiton	22	32	52	38
Bronze	19	28	45	34
Fonte grise	13	10,5	30	12,5
Acier (Rr)e = 40 kg/mm²	11	18	26	21
60 kg/mm²	7	12	18	14
80 kg/mm²	5	7	12	8,5
100 kg/mm²	2	2,4	6	2,7

Tableau N° 5 _ *Vitesses de moindre usure et débits correspondants pour des outils en acier fondu et des outils en acier rapide.*

D. Définition de la vitesse de moindre usure

La vitesse de moindre usure est la vitesse de coupe pour laquelle le débit de l'outil est maximum.

Le tableau n° 5, extrait des travaux du Cdt Denis, indique les vitesses de moindre usure et les débits correspondants pour des outils en acier fondu et des outils en acier rapide travaillant les métaux courants en tournage à sec, avec une profondeur de passe de 5 *mm* et une avance de 0,5 *mm*.

Nota. — Pour le rabotage prendre les 2/3 des vitesses données par le tableau.

III. — FACTEURS DONT DÉPEND LA VITESSE DE MOINDRE USURE

L'expérience précédente, répétée dans d'autres conditions, a permis d'isoler les facteurs les plus influents :

1° **Dureté du métal usiné.** — Plus la dureté du métal usiné est grande, plus la vitesse de moindre usure est faible (Voir tableau n° 5).

2° **Dureté et nature du métal qui constitue l'outil.** — Pour un même métal usiné, la vitesse de moindre usure d'un outil en acier rapide est plus grande que celle d'un outil en acier fondu (Voir tableau n° 5).

3° **Lubrification de l'outil.** — Si la partie active de l'outil est arrosée pendant le travail, la vitesse de moindre usure est augmentée.

4° **Section du copeau.** — Plus la section du copeau est faible, plus la vitesse de moindre usure est élevée. C'est pourquoi on travaillera plus vite pour la finition que pour l'ébauche.

5° **Mode de travail de l'outil.** — Un outil qui reçoit des chocs (outil d'étau-limeur) a une vitesse de moindre usure plus faible que le même outil travaillant sans chocs (outil de tour).

Exemple d'utilisation du tableau : On veut raboter une pièce en acier (Rr) e = 80 *kg/mm²*, de 180 *mm* de long avec un outil en acier rapide utilisé dans les conditions suivantes : profondeur de passe = 3 *mm*, avance = 0,5 *mm*, travail à sec.

Calculer le nombre de battements-minute.

Solution.

La vitesse donnée pour le tournage est 12 *m/mn*.

Vitesse pour le rabotage : $\frac{12 \times 2}{3} = 8\ m/mn.$

Course de l'outil :

longueur de la pièce + longueur d'échappée = $180 + (10 \times 2) = 200\ mm.$

Nombre de battements-minute :

$$N = \frac{1\,000\ V}{2\ C} = \frac{1\,000 \times 8}{2 \times 200} = 20\ b/mn.$$

Résumé

L'usure d'un outil varie avec sa vitesse de coupe.

a) Débit d'un outil. — ***Le débit d'un outil est le volume de copeaux, exprimé en décimètres cubes, que cet outil peut produire entre deux affûtages successifs.***

b)* Vitesse de moindre usure.** — ***La vitesse de moindre usure est la vitesse de coupe qui permet d'obtenir le débit maximum d'un outil.

La vitesse de moindre usure varie en fonction :

1° De la dureté du métal travaillé. — Plus la dureté du métal travaillé est élevée, plus la vitesse de moindre usure est faible.

2° De la dureté et de la nature du métal qui constitue l'outil. La vitesse de moindre usure d'un outil en acier rapide est plus grande que celle d'un outil en acier fondu.

3° De la lubrification de l'outil. — Lorsque la partie active de l'outil est arrosée, la vitesse de moindre usure est augmentée.

4° De la section du copeau. — Plus la section du copeau est faible, plus la vitesse de moindre usure est élevée.

5° Du mode de travail de l'outil. — La vitesse de moindre usure est plus faible pour un outil qui reçoit des chocs que pour un outil qui travaille sans chocs.

VITESSE DE COUPE (Fin)

I. — GRAPHIQUES DES VITESSES DE COUPE

Le tableau n° 5 de la leçon précédente donne la vitesse de coupe de moindre usure et l'ouvrier sait calculer, à partir de cette vitesse, le nombre de tours-minute de la broche ou de la pièce ou le nombre de battements-minute de l'outil ou de la pièce.

Mais ce calcul prend du temps et peut prêter à des erreurs. On a donc établi des **graphiques, ou abaques, des vitesses de coupe** qui donnent, par simple lecture, l'élément cherché.

En général, chaque machine de l'atelier possède une gamme de vitesses de rotation qui lui est propre et qui sert de base à l'établissement du graphique.

A. Graphique relatif à une machine donnée

Pour une perceuse (fig. 154) à commande par courroie et poulies étagées, par exemple, il y a autant de vitesses que d'étages à la poulie. La broche, qui porte l'outil, reçoit une poulie étagée et le moteur, qui tourne à vitesse constante, reçoit la même poulie inversée.

Il est donc possible de donner à la broche des vitesses de rotation différentes en faisant passer la courroie sur les gradins 1 et 1', 2 et 2', 3 et 3', 4 et 4'.

Ces vitesses sont :

N_1 (liaison des gradins 1 et 1') : 3 200 *tr/mn*;
N_2 (d° 2 et 2') : 1 600 *tr/mn*;
N_3 (d° 3 et 3') : 800 *tr/mn*;
N_4 (d° 4 et 4') : 400 *tr/mn*.

1° Construction du graphique (fig. 155).

— Tracer les deux axes de coordonnées;

— Porter des distances égales représentant, en abscisses, les diamètres de 1 à 10 *mm* et, en ordonnées, les vitesses de coupe;

— Calculer la vitesse de coupe pour les diamètres 5 et 10 à 400 *tr/mn* :

$$V_5 = \frac{3{,}14 \times 5 \times 400}{1\,000} = 6{,}28\ m/mn.$$

$$V_{10} = \frac{3{,}14 \times 10 \times 400}{1\,000} = 12{,}56\ m/mn.$$

Les ordonnées 6,28 et 12,56 et les abscisses 5 et 10 se coupent respectivement en **a** et **b**. Les points **o, a, b,** sont sur une même droite : c'est **la droite des 400** *tr/mn*. On peut donc la tracer en joignant le zéro à un seul des points **a** ou **b**.

— Déterminer de même les points **c, d, e,** et tracer les droites des 800, 1 600 et 3 200 *tr/mn*.

2° Emploi et lecture du graphique.

Soit à déterminer le nombre de tours-minute d'un foret de 7 *mm* devant travailler à la vitesse de coupe de 20 *m/mn*.

Suivre l'abscisse 7 *mm* jusqu'à sa rencontre, en **f**, avec l'ordonnée 20 *m/mn*. Le point **f** se trouvant entre les droites des 800 et 1 600 *tr/mn*, on adoptera la plus faible de ces deux vitesses et on placera la courroie sur les gradins 3 et 3'.

La vitesse de coupe réelle du foret sera lue sur l'échelle des ordonnées en regard du point **g**, soit 17,5 *m/mn*.

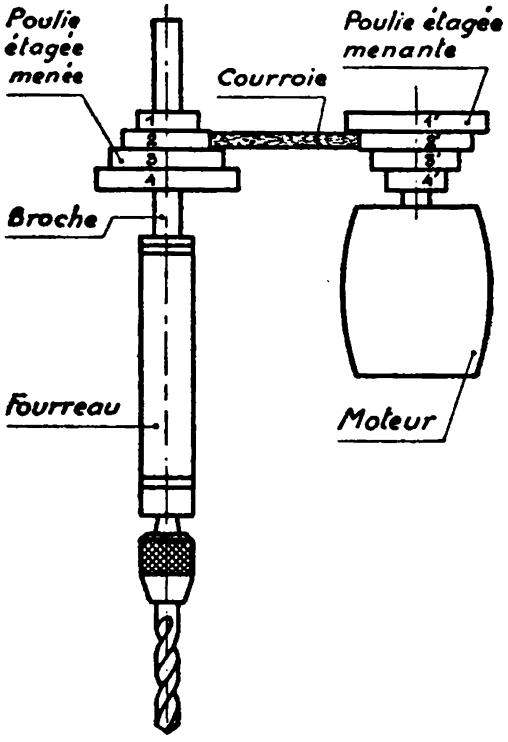


Fig 154. *Broche de perceuse commandée par courroie et poulies étagées.*

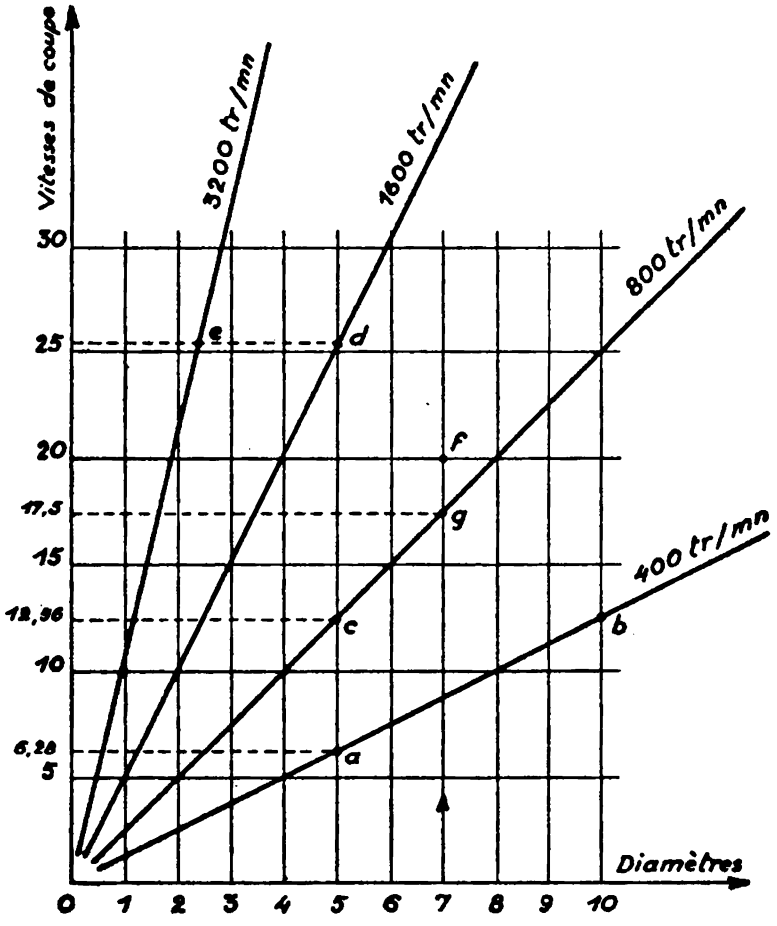


Fig 155. *Graphique des vitesses de coupe d'une perceuse de capacité 10 mm tournant à 400, 800, 1600, 3200 tours-minute.*

Remarque. — Le graphique peut être utilisé pour étaux-limeurs, raboteuses et mortaiseuses si, à la construction, on porte en abscisses les courses et en ordonnées les vitesses de coupe.

B. Graphique relatif à une vitesse de coupe donnée

L'établissement d'un tel graphique ne pouvant trouver place ici, nous nous bornerons à son utilisation.

A tout point situé sur la courbe correspondent :

— une abscisse qui donne le diamètre de la pièce ou du foret, ou de la fraise ;

— une ordonnée qui donne le nombre de tours-minute correspondant.

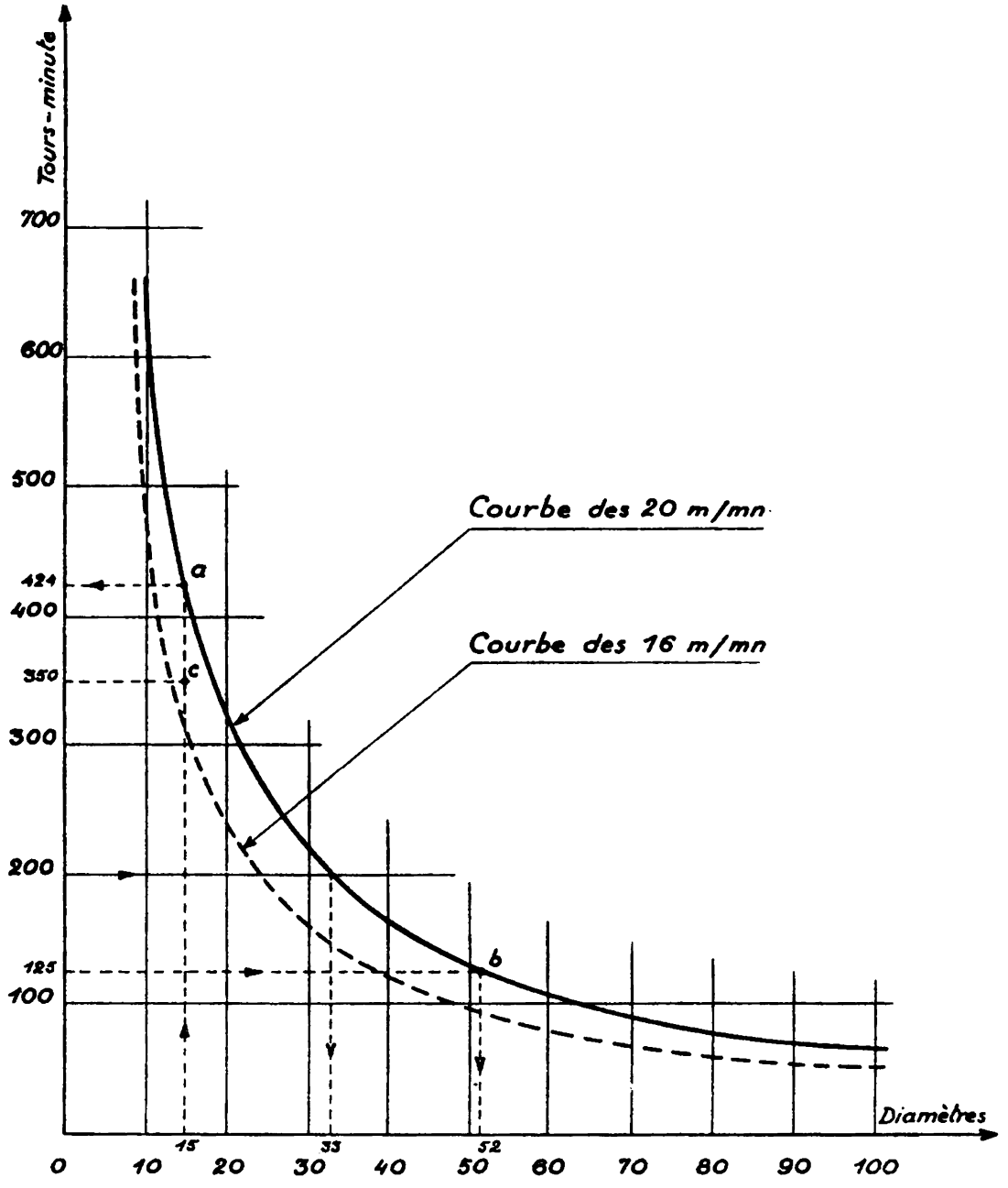


Fig 156 _ Graphique des vitesses de coupe de 16 m/mn et de 20 m/mn

Ex. : La figure 156 donne le graphique de la vitesse de coupe 20 *m/mn* pour des diamètres compris entre 0 et 100 *mm*.

a) Un tour possède les six vitesses de rotation suivantes : 80, 125, 200, 350, 500, 800 *tr/mn*. Quel nombre de tours faut-il choisir pour charioter une pièce de $\varphi = 15$ *mm* à la vitesse de coupe de 20 *m/mn*?

Suivre l'abscisse 15 *mm* jusqu'à sa rencontre avec la courbe en **a**. En suivant l'ordonnée du point **a** on trouve 424 *tr/mn*. Choisir la vitesse de rotation inférieure donnée par le tour, soit 350 *tr/mn*.

b) A la vitesse de rotation de 125 *tr/mn*, quels diamètres de tournage peut-on admettre?

L'ordonnée 125 *tr/mn* rencontre la courbe en **b**. A ce point correspond l'abscisse 52 *m/mn*.

Le diamètre maximum à admettre à la vitesse de rotation supérieure 200 *tr/mn* serait 33 *mm*. Donc, à 125 *tr/mn*, on pourra admettre tous les diamètres compris entre 33 *mm* exclus et 52 *mm* inclus.

Remarques. — 1° Le même graphique peut porter plusieurs courbes correspondant à des vitesses de coupe différentes. On pourra alors dans l'application **a)** lire la vitesse de coupe sur la courbe qui s'en rapproche le plus. Celle qui passe le plus près du point C est la courbe des 16 *m/mn*.

2° Le graphique peut être utilisé pour étaux-limeurs, raboteuses et mortaiseuses, à condition de porter, lors de sa construction, les courses en abscisses et les battements-minute en ordonnées.

Résumé

Les machines-outils sont munies d'un dispositif de changement de vitesses de rotation ou de translation de la pièce ou de l'outil. Ces variations de vitesse sont nécessaires pour assurer le respect de la vitesse de coupe de l'outil la mieux adaptée.

Lorsque la vitesse de coupe est connue, la détermination du nombre de tours ou du nombre de battements peut être faite à l'aide de graphiques.

Les graphiques employés sont de deux sortes :

a) Ceux établis spécialement pour les vitesses de rotation ou de battement de la machine-outil ;

b) Ceux établis pour toute une série de vitesses de coupe.

L'emploi des graphiques donne des résultats approchés mais suffisamment précis pour leur application à l'atelier.

CINQUIÈME PARTIE

FORMES BRUTES
TRAVAIL DU BOIS

Obtention des pièces par moulage.

Obtention des pièces par forgeage.

Obtention des pièces par chaudronnage.

Notions sur le travail du bois.

OBTENTION DES PIÈCES PAR MOULAGE

Certains métaux étant facilement fusibles et fluides, on peut les couler dans un moule. L'opération s'appelle **moulage.** L'atelier dans lequel est utilisé ce procédé de travail est une **fonderie.**

Les métaux et alliages qui se prêtent le mieux au moulage sont : la fonte, l'acier, le bronze, le laiton, l'étain, le plomb et les alliages d'aluminium.

I. — MOULAGE EN SABLE

A. Principe du moulage en sable

On réalise une cavité, ou **empreinte,** à l'intérieur d'un bloc de sable serré. Puis on coule le métal liquide dans l'empreinte par un trou de coulée aménagé à cet effet. Après solidification par refroidissement naturel, on obtient une pièce ayant la forme de l'empreinte.

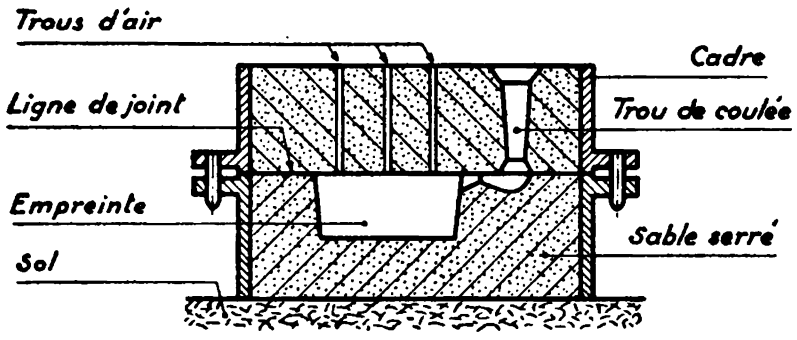


Fig 157_ *Moule en sable terminé.*

L'empreinte est obtenue à l'aide d'un **modèle,** le sable est serré dans un **chassis** et le moule prêt à la coulée se présente suivant la figure 157.

B. Modèle

Soit à exécuter la pièce en fonte (fig. 158) usinée sur toutes ses faces.

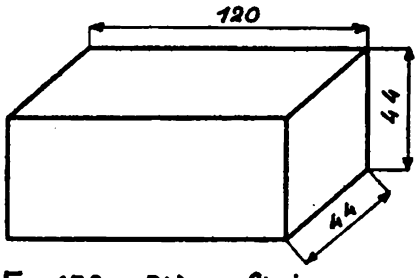


Fig 158_ *Pièce finie. Usinée partout.*

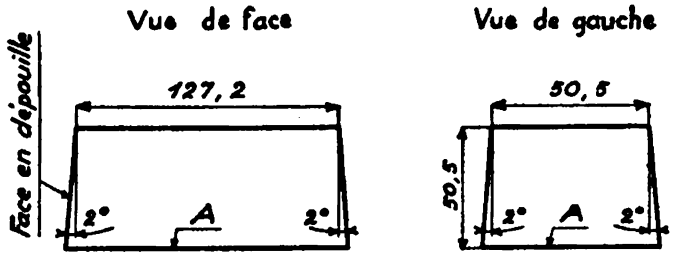


Fig 159_ *Modèle coté. Les cotes comprennent les surépaisseurs d'usinage plus le retrait.*

Pour réaliser l'empreinte il faut un modèle (fig. 159) en bois (tilleul de préférence) ou métallique. Ses dimensions ne sont pas celles de la pièce car il faut tenir compte :

1° **De l'usinage.** La pièce brute comporte des surépaisseurs de 3 *mm* environ qui seront enlevées en cours d'usinage. Les dimensions du modèle seront donc :

Côté $= 44 + (3 \times 2) = 50$ *mm*. Longueur $= 120 + (3 \times 2) = 126$ *mm*.

2° **Du retrait** car, lors du refroidissement, le métal se contracte. **Le retrait est la valeur de cette contraction.**

La fonte ayant un retrait de 1 %, les cotes du modèle seront majorées dans cette proportion : Elles deviendront :

$$\text{Côté} = \frac{50 \times 101}{100} = 50{,}5\ mm. \qquad \text{Longueur} = \frac{126 \times 101}{100} = 127{,}2\ mm \quad (1).$$

3° **De la dépouille.** Afin de pouvoir le sortir de l'empreinte sans détériorer le moule, il est nécessaire de donner de la **dépouille** au modèle. L'angle de dépouille varie de 2 à 3°.

La **face de joint** (face A sur la fig. 159) est la surface de contact des deux parties du moule et la **ligne de joint** est la ligne du contour du modèle choisi. La face de joint est un plan et la ligne de joint est composée de quatre droites.

C. Sable de fonderie

Il doit être infusible, consistant et poreux.

Il est composé :

— de grains de silice. La silice est pratiquement infusible au contact du métal en fusion;

— d'argile, qui lie les grains de silice entre eux et empêche le moule de se désagréger après enlèvement du modèle;

— de noirs de fonderie, graphite pulvérisé ou noir végétal (charbon de bois pulvérisé) qui brûlent au contact du métal en fusion et donnent ainsi au moule la porosité et la perméabilité nécessaires à l'évacuation des gaz (air, vapeur d'eau, oxyde de carbone).

D. Matériel de moulage *(fig. 160)*

Pour contenir le sable on utilise des cadres métalliques munis intérieurement de nervures destinées à retenir le sable pendant le maniement du moule.

Deux cadres au moins constituent un châssis. Les oreilles d'un des cadres portent des goujons qui se logent dans les trous des oreilles correspondantes de l'autre. L'assemblage se fait donc sans jeu excessif.

Le sable est serré dans le châssis à l'aide d'un fouloir puis égalisé à l'aide d'une pilette.

---

(1) En principe on ne fait pas ce calcul car on utilise un mètre à *retrait*, ou *mètre de fondeur*, qui mesure 1 cm de plus qu'un mètre normal.

La truelle et la spatule sont utilisées pour le lissage des faces de joint, de l'empreinte et du trou de coulée.

Le mandrin de coulée est un cône en bois employé pour l'ébauche du trou de coulée.

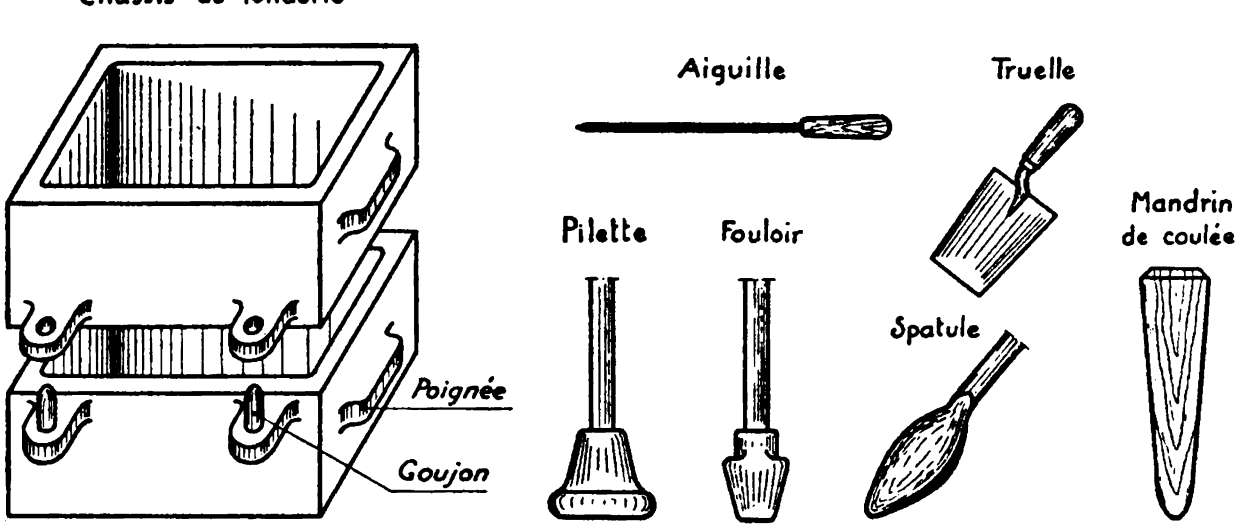


Fig 160_ *Matériel de moulage.*

E. Exécution d'un moule

Les opérations de la confection d'un moule sont les suivantes :

1re opération. — Exécution du dessous de châssis (fig. 161).

— Poser le modèle sur un marbre (table en fonte), dépouille côté marbre, à l'intérieur d'un cadre;

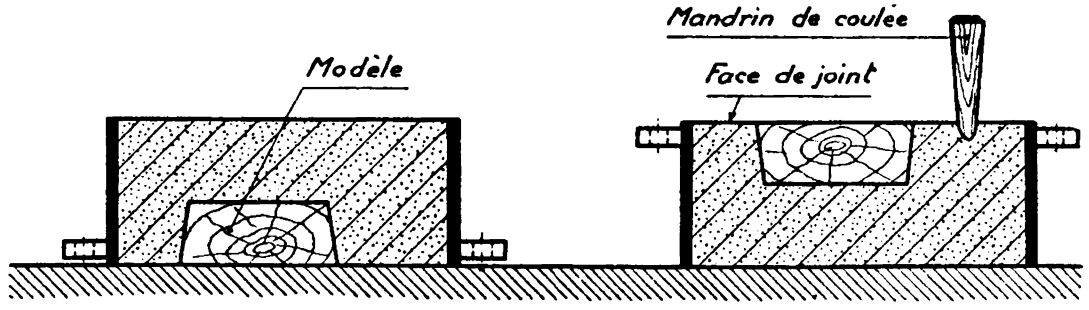


Fig 161_ *Exécution du dessous de chassis.*

— Tamiser du sable de moulage dans le cadre et serrer le sable;

— Retourner le cadre, exécuter puis lisser la face de joint à la truelle;

— Saupoudrer la face de joint avec du sable blanc exempt d'argile et enfoncer légèrement le mandrin de coulée.

2e opération. — Exécution du dessus de châssis (fig. 162).

— Engoujonner le dessus de châssis;

— Tamiser du sable de moulage et le serrer;

— A l'aide d'une aiguille (fig. 160), longue pointe munie d'un manche, piquer des trous d'air qui favorisent l'évacuation des gaz.

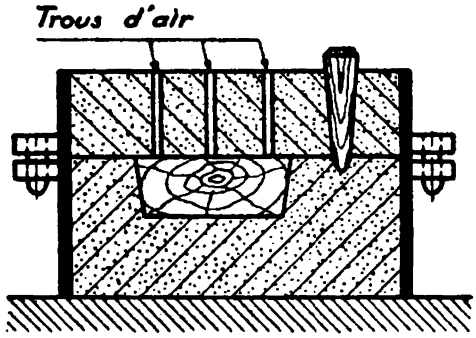


Fig 162 _ *Exécution du dessus de chassis.*

3e opération. — Démoulage du modèle (fig. 163).

— Enlever le mandrin de coulée;

— Démouler, c'est-à-dire séparer les deux châssis que le sable blanc saupoudré sur la face de joint empêche d'adhérer l'un à l'autre;

— Sortir le modèle après l'avoir ébranlé doucement. L'ébranlage et l'enlèvement du modèle sont facilités par un tire-fond légèrement vissé dans le modèle;

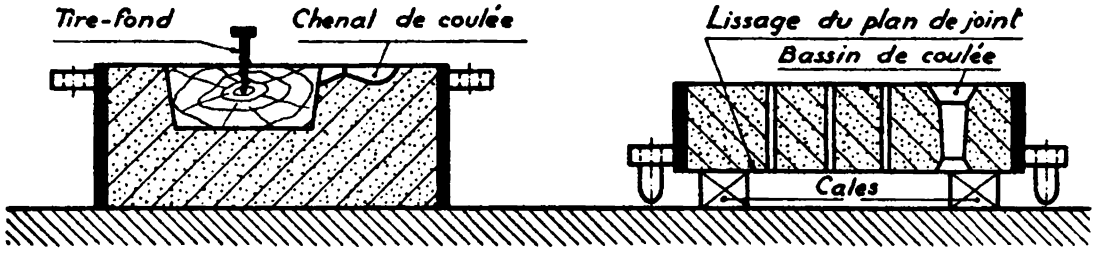


Fig 163 _ *Démoulage . Enlèvement du modèle et finition du trou de coulée.*

— Exécuter et lisser le bassin de coulée dans le dessus de châssis et le chenal de coulée dans le dessous de châssis;

— Saupoudrer l'empreinte de noir de fonderie qui donnera à la pièce des faces lisses : une *belle peau.*

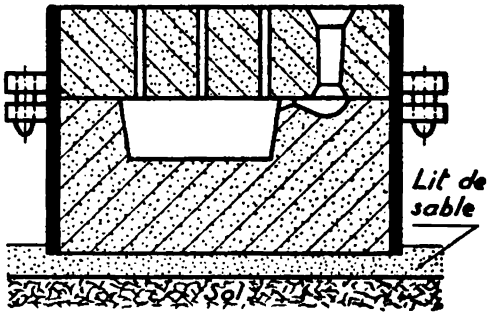


Fig 164 _ *Moule terminé.*

4e opération. — Remmoulage (fig. 164).

— Poser le dessus de châssis sur le dessous de châssis en vérifiant leur position relative;

— Préparer un lit de sable sur le sol et y poser le moule avec précaution.

Le moule est prêt à la coulée.

Résumé

Le *moulage* est un procédé d'obtention de pièces brutes par *coulée de métal liquide dans un moule*.

MOULAGE EN SABLE

Le moule est constitué par un bloc de sable dans lequel est aménagée une empreinte ayant la forme de la pièce.

Le métal liquide est versé dans un *trou de coulée* qui communique avec l'*empreinte*.

La construction d'un moule en sable nécessite :

- **un *modèle* en bois ou métallique dont les cotes sont déterminées en tenant compte des *surépaisseurs d'usinage*, du *retrait* et de la *dépouille*;**
- **du *sable de fonderie* constitué par des grains de silice, de l'argile et du noir de fonderie;**
- **un *matériel de moulage* qui comprend :**

  le châssis contenant le sable;

  le fouloir et la pilette pour la serre du sable;

  la truelle et la spatule pour le lissage de l'empreinte et des faces de joint;

  le mandrin de coulée pour l'exécution de l'ébauche du trou de coulée;

  l'aiguille pour le perçage des trous d'air.

La confection d'un moule en sable comprend :

- **l'exécution du dessous de châssis;**
- **l'exécution du dessus de châssis;**
- **le démoulage;**
- **le remmoulage.**

OBTENTION DES PIÈCES PAR MOULAGE (Fin)

II. — MOULAGE EN SABLE AVEC NOYAU

Le moulage est dit **moulage au naturel** lorsque le modèle a la même forme que la pièce demandée. C'est le cas du moulage du prisme étudié dans la leçon précédente.

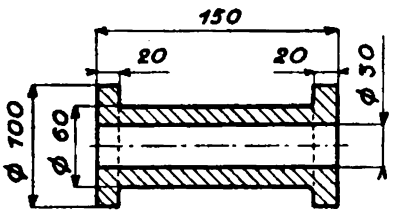


Fig 165_ *Pièce demandée.*

Le **moulage avec noyau** s'impose pour l'obtention des pièces présentant des évidements qu'il serait difficile, voire même impossible, d'obtenir par moulage au naturel. La pièce donnée par la figure 165 ne peut pas être moulée au naturel à cause du trou central; nous la moulerons donc avec noyau.

A. Modèle

Le modèle a la forme donnée par la figure 166. Il diffère de la pièce puisqu'il présente des parties en saillie, dites **portées**, au lieu du trou central.

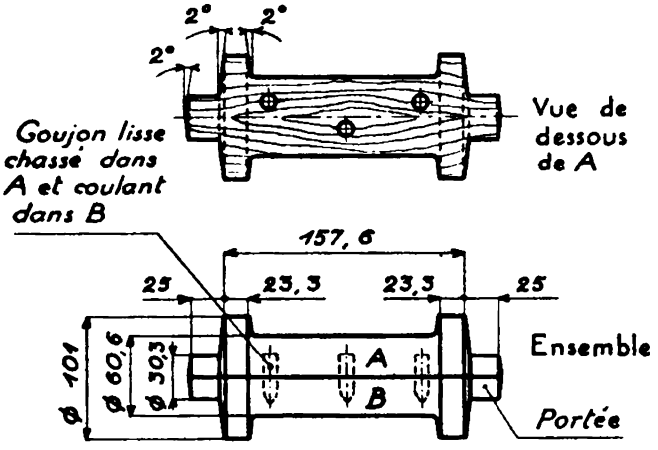


Fig 166_ *Modèle en deux parties.*

L'attention du mouleur est attirée par la couleur noire de ces portées.

Le plan de joint passant obligatoirement par l'axe, on facilite la séparation des châssis au moment du démoulage en établissant le modèle en deux parties, A et B, assemblées et repérées par goujons lisses, donc démontables.

B. Noyau et boîte à noyau

Pour que l'empreinte laissée par le modèle prenne la forme de la pièce, il faudra y introduire un cylindre de sable appelé **noyau.**

La **boîte à noyau** (fig. 167) est un moule, métallique ou en bois, dont l'empreinte, dans laquelle on serre un sable très consistant, a la forme du noyau.

La boîte est en deux parties, A et B, assemblées par goujons lisses. Lorsque le sable est serré, on l'ouvre et on sort ainsi le noyau sans le détériorer.

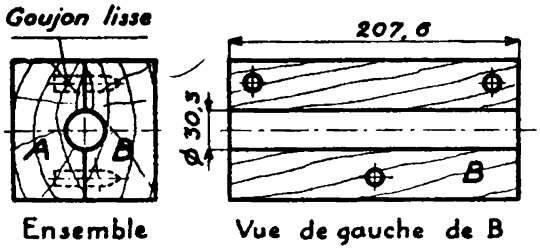


Fig 167_ *Boîte à noyau.*

Le noyau est ensuite séché à l'étuve, ce qui lui donne la porosité et la résistance nécessaires.

C. Confection du moule

Exécution du dessous de châssis (fig. 168) — Poser la partie B du modèle à plat sur le marbre et à l'intérieur d'un cadre, puis serrer le sable. Retourner le châssis, exécuter la face de joint et saupoudrer de sable blanc.

Exécution du dessus de châssis (fig. 169). — Monter la partie A du modèle

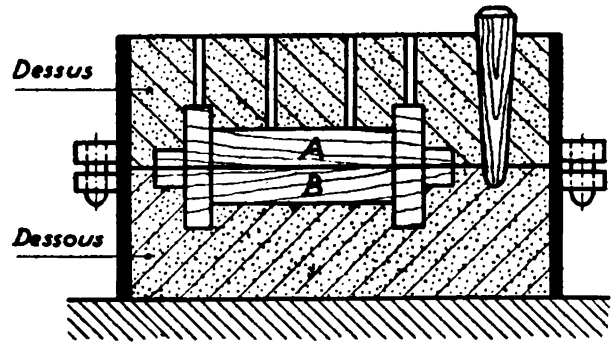


Fig 169_ *Exécution du dessus de chassis.*

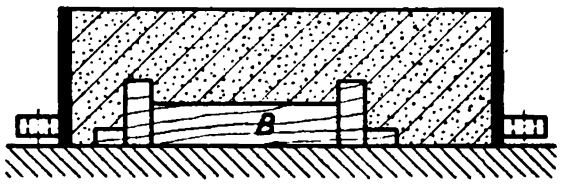


Fig 168_ *Exécution du dessous de chassis.*

sur la partie B, enfoncer légèrement le mandrin de coulée, monter le dessus de châssis, serrer le sable et piquer les trous d'air.

Démoulage (fig. 170). — Enlever le mandrin de coulée, sortir le dessus de châssis et les demi-modèles, trancher le bassin de coulée dans le dessus et le chenal de coulée dans le dessous.

Remmoulage (fig. 171). — Saupoudrer l'empreinte de noir de fonderie et poser le noyau qui prend appui sur les empreintes laissées par les portées du modèle. Engoujonner le dessus puis déposer le moule sur un lit de sable. Il est prêt à la coulée.

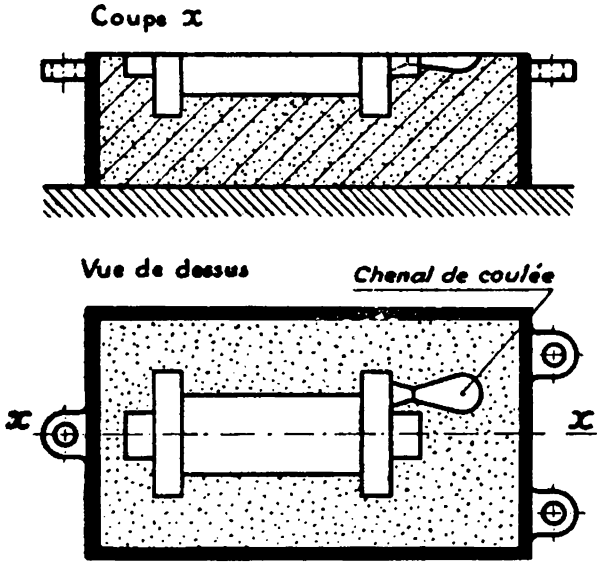


Fig 170_ *Dessous de chassis après démoulage.*

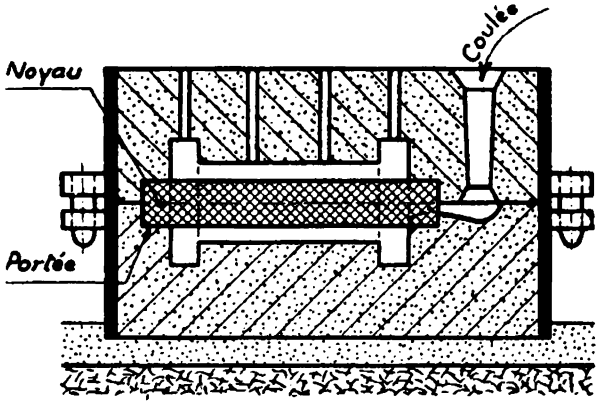


Fig 171_ *Moule après remmoulage. Le noyau est lié au moule par les portées*

III. — COULÉE DU MÉTAL

Le métal qui s'écoule du four de fusion (cubilot pour la fonte) est recueilli dans une **poche de coulée** (fig. 172 et 173), récipient en tôle d'acier garni intérieurement de sable de fonderie ou de briques réfractaires.

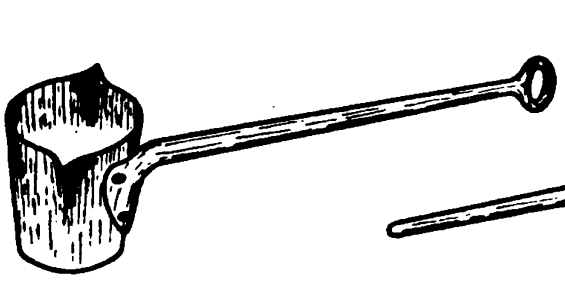


Fig 172 _ *Poche à une poignée.*

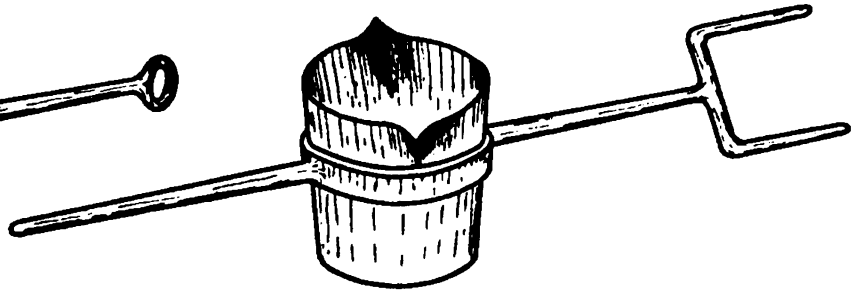


Fig 173 _ *Poche à deux poignées dont une à fourche.*

Les poches de petite capacité, transportées et manœuvrées à la main, sont à une poignée (15 à 25 *kg*) ou à deux poignées (25 à 100 *kg*).

Les poches de grande capacité (300 à 30.000 *kg*) sont suspendues à des ponts roulants et leur manœuvre est faite mécaniquement par engrenages.

Pour éviter les fuites qui se produiraient dans le plan de joint, on dispose sur le châssis une charge mobile (gueuses de fonte). Le métal liquide est versé ensuite jusqu'à remplissage du trou de coulée.

IV. — DÉCOCHAGE

Lorsque le métal coulé est refroidi, on casse le moule en sable au marteau pour en extraire la pièce : c'est l'opération de **décochage.**

La masse de métal refroidie dans le trou de coulée fait corps avec la pièce (fig. 174). Si elle est en fonte, on la sépare par un coup de marteau très sec (fig. 175).

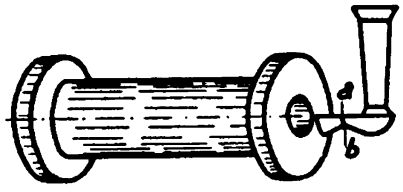


Fig 174 _ *Pièce après décochage.*

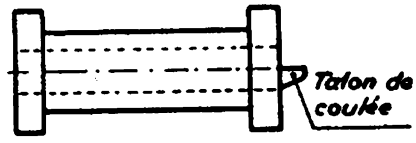


Fig 175 _ *Pièce après séparation de la coulée.*

Afin d'éviter d'ébrécher la pièce lors de la séparation du trou de coulée, le chenal de coulée présente un rétrécissement en ab (fig. 174) qui localise la cassure à cet endroit.

V. — DESSABLAGE

Le **dessablage** consiste à enlever le sable qui adhère à la surface des pièces. Il peut être fait à la brosse métallique ou par projection de sable siliceux bien sec ou de grenaille d'acier au moyen d'un jet d'air comprimé.

L'ouvrier porte un masque qui le protège des poussières.

VI. — ÉBARBAGE

L'ébarbage a pour but de faire disparaître de la pièce le talon de coulée, les bavures aux joints et les rugosités.

On l'exécute au burin, à la lime ou, de préférence, à la meule.

Les coulées des pièces en acier sont préalablement coupées au chalumeau oxyacétylénique; celles des pièces en bronze, en laiton ou en aluminium sont sciées.

Après ébarbage, la pièce est prête à l'utilisation.

Résumé

Le *moulage avec noyau* est employé pour l'obtention des pièces qui présentent des évidements impossibles à réaliser par moulage au naturel.

L'empreinte est en partie dans le dessus de chassis et en partie dans le dessous de châssis.

Le modèle présente des *portées* qui laisseront dans le moule des cavités servant de support et de guide au noyau.

Le *noyau* est une forme en sable que l'on place dans l'empreinte laissée par la forme extérieure du modèle.

La *boîte à noyau* est un moule en bois ou métallique servant au moulage du noyau.

a) *Confection du moule*. — Elle comprend :

— l'exécution du dessous et du dessus de châssis;
— le démoulage;
— la pose du noyau;
— le remmoulage.

b) *Coulée du métal*. — Le métal liquide sortant du four de fusion est recueilli dans une *poche de coulée* et versé dans le moule jusqu'à remplissage du trou de coulée.

Le *décochage* consiste à extraire la pièce du moule.

Le *dessablage* consiste à enlever le sable qui adhère à la pièce. Il est fait à la brosse métallique ou au jet de sable ou de grenaille d'acier.

L'*ébarbage* a pour but de débarrasser la pièce des talons de coulée, des bavures et des rugosités.

FORGEAGE

Les métaux, chauffés au rouge, deviennent plus ou moins pâteux et sont, à cet état, beaucoup plus malléables qu'à froid.

Le forgeage, qui est basé sur cette propriété, a pour but l'obtention des pièces par déformation du métal à chaud sous les effets de chocs ou de pressions. Les pièces obtenues sont des **ébauches.**

Le forgeage est exécuté à la main ou mécaniquement.

I. — CHAUFFAGE AU FEU DE FORGE

Le chauffage au feu de forge (fig. 176) est utilisé pour le forgeage à main. La préparation du foyer et la position de la pièce dans son enceinte sont les conditions primordiales d'un bon chauffage du métal.

L'emplacement du foyer est creusé dans le *fraisil* (cendres des combustions précédentes). Le combustible utilisé est la houille.

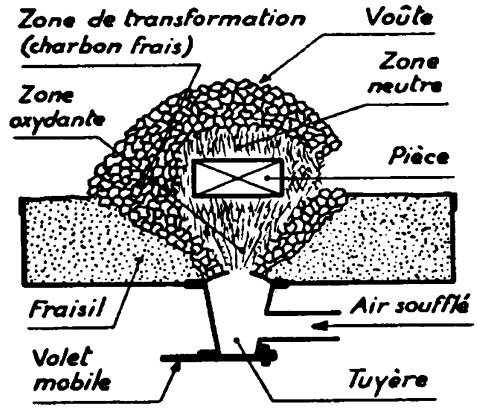


Fig 176 _ *Schéma d'un feu de forge.*

Dans la **zone de transformation** le charbon frais perd son soufre, nuisible au métal et, de plus, se transforme en coke.

La pièce est placée dans la **zone neutre,** ou zone de combustion, alimentée par le coke provenant de la zone de transformation, car il faut la soustraire à l'oxydation.

Dans la **zone oxydante,** où arrive l'air froid soufflé, tombent les résidus incombustibles qui forment le mâchefer. Ce mâchefer, qui gênerait le passage de l'air doit être enlevé de temps en temps.

La création d'une voûte par mouillage de la houille favorise la chauffe.

II. — EFFETS TECHNIQUES OBTENUS PAR FORGEAGE A MAIN

A. Etirage

L'étirage (fig. 177) consiste à allonger la pièce par diminution de sa section.

L'écoulement du métal est favorisé par martelage de la pièce sur la bigorne ronde de l'enclume. L'ouvrier tient le marteau de telle façon que le manche soit sensiblement parallèle au grand axe de l'enclume.

Il est absolument nécessaire, lors de l'étirage, de conserver à la partie étirée une section carrée ou rectangulaire par **contre-forgeage,** c'est-à-dire martelage sur le champ aminci.

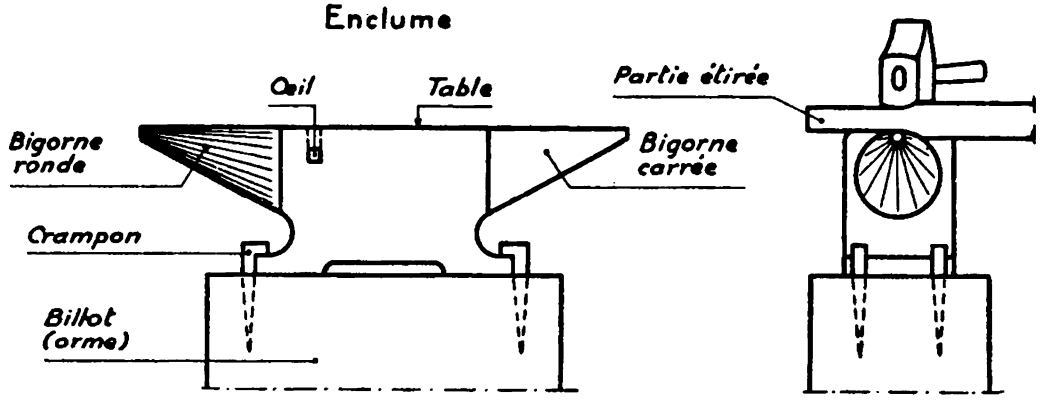


Fig 177 - *Etirage en bout au marteau.*

B. Refoulage

Le refoulage (fig. 178) a pour but d'augmenter la section au détriment de la longueur. La partie refoulée doit seule être chauffée.

Pour éviter le déport, le martelage doit se faire dans l'axe de la barre.

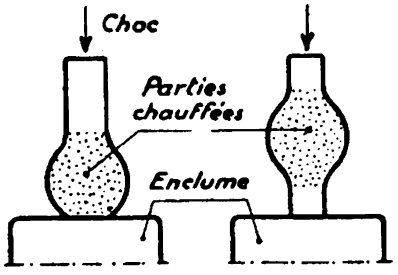


Fig 178 - *Refoulages.*

C. Etampage

L'étampage a pour objet la réalisation de parties cylindriques (fig. 179).

L'opération comprend (fig. 180) :

1° l'étirage en section carrée de côté égal au diamètre d ;

2° l'étirage en section octogonale de double apothème a = d ;

3° l'étampage proprement dit au diamètre d à l'aide d'un jeu d'étampes.

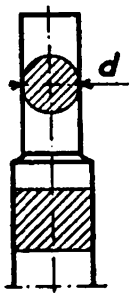
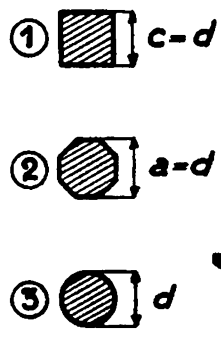


Fig 179 - *Pièce avec partie étampée.*



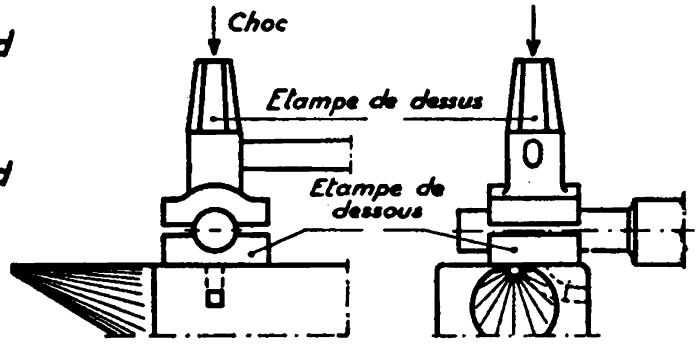


Fig 180 - *Etampage . Troisième opération.*

D. Cambrage

Plier une pièce sans produire d'angle vif extérieur, c'est la **cambrer. Le cambrage** se fait à l'étau muni d'une mordache au rayon demandé (fig. 181) ou sur le bord de l'enclume (fig. 182) ou sur la bigorne ronde.

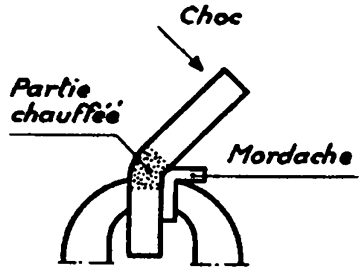


Fig 181. *Cambrage à l'étau.*

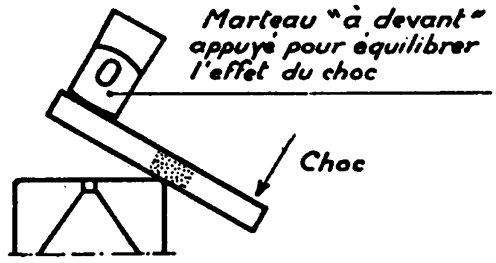


Fig 182. *Cambrage sur l'enclume.*

Dans tous les cas, la chaude doit être localisée à la région du cambrage.

E. Coudage à angle vif

Si l'on coude une pièce par simple cambrage, l'angle extérieur n'est pas vif (fig. 183).

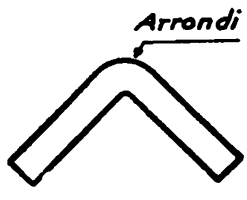


Fig 183. *L'angle extérieur est arrondi.*

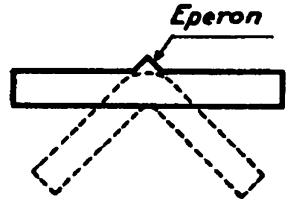


Fig 184. *Recherche de l'ébauche.*

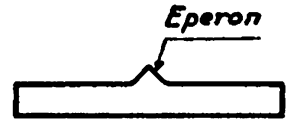


Fig 185. *Pièce étirée avant coudage.*

Le métal qui formera cet angle doit donc être réservé en saillie, ou en éperon (fig. 184), sur l'ébauche, par étirage ou par refoulage (fig. 185) avant de procéder au coudage.

F. Tranchage

Le sectionnement d'une barre, à chaud, se fait par **tranchage** (fig. 186).

1re opération. — Trancher le métal jusqu'aux 3/4 de l'épaisseur en inclinant la tranche pour obtenir une coupe perpendiculaire à l'axe de la barre.

2e opération. — Terminer la coupe en retournant la barre sur un étrier, ou *martyr*, en acier doux, posé à cheval sur l'enclume.

L'étrier évite la détérioration de l'arête coupante de la tranche sur l'enclume trempée.

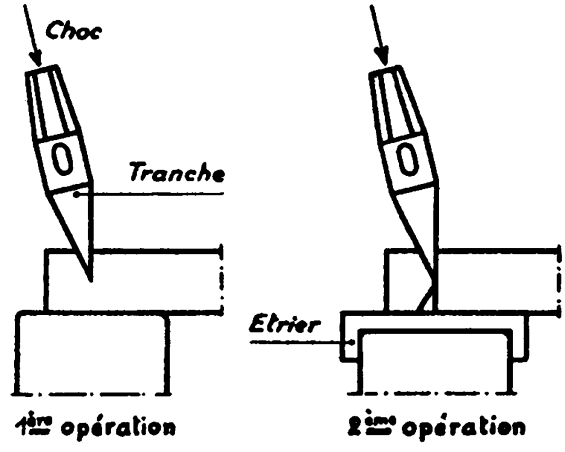


Fig 186. *Tranchage d'une barre.*

C. Perçage à chaud et mandrinage

Le **perçage à chaud**, appelé aussi poinçonnage à chaud, est réalisé en faisant passer par moitié, en deux opérations, un poinçon tronconique dans la barre (fig. 187).

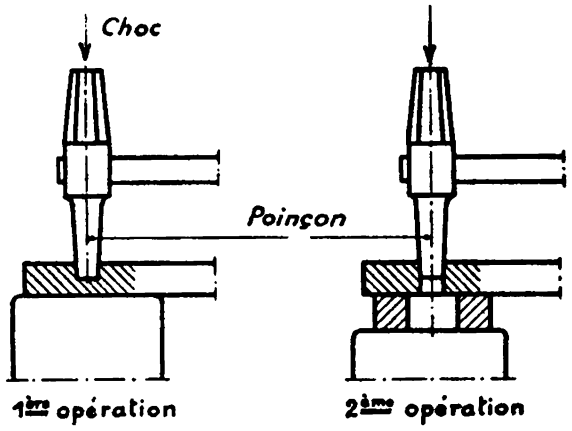


Fig 187_ *Perçage à chaud.*

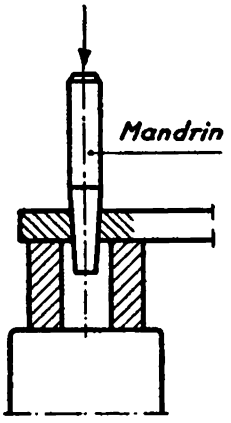


Fig 188_ *Mandrinage.*

L'agrandissement et la régularisation du trou sont obtenus par **mandrinage**, c'est-à-dire par passage d'un mandrin au travers de la barre (fig. 188).

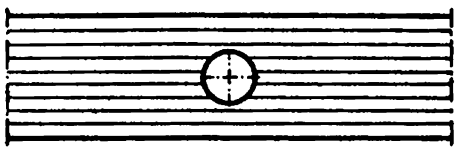


Fig 189_ *Perçage au foret. Les fibres sont coupées.*

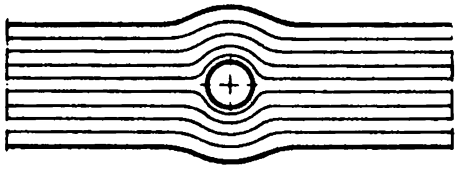


Fig 190_ *Perçage à chaud. Les fibres ne sont pas coupées.*

Le perçage à chaud ne coupe pas les fibres du métal (fig. 189). Il les sépare, ce qui laisse à la pièce toute sa résistance (fig. 190).

H. Fendage

Le **fendage** à la tranche, dont le but est illustré par la figure 191, se fait après poinçonnage de trous.

Le travail est conduit par moitié, en deux opérations, comme pour le tranchage.

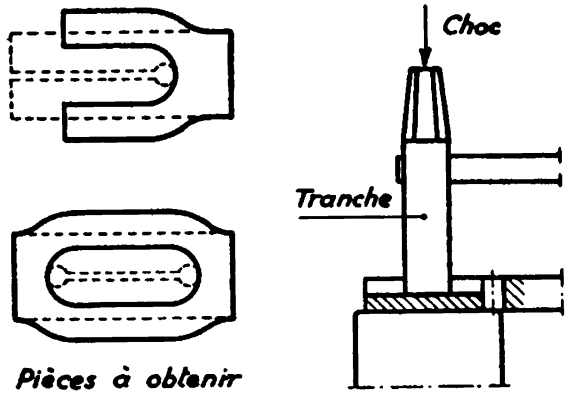


Fig 191_ *Fendage à la tranche.*

I. Bigornage

Après poinçonnage d'un trou d'assez gros diamètre ou après poinçonnage et fendage, on peut obtenir un anneau sans soudure en étirant le métal sur la bigorne ronde (fig. 192).

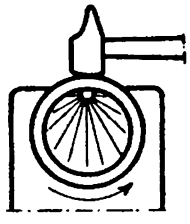


Fig 192_ *Bigornage*

J. Maillage ou torsadage

Un effort de torsion place les fibres de la tige en hélice et chaque face prend la forme d'une surface hélicoïdale (fig. 193).

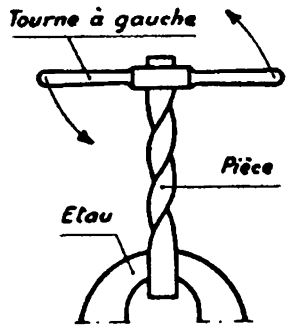


Fig 193 - *Maillage.*

Le **maillage** est appliqué, par exemple :

— en serrurerie, pour augmenter l'esthétique d'une grille;

— après forgeage, pour *ramener* deux branches dans un même plan.

K. Soudure à la forge

Elle ne s'applique qu'aux aciers doux, extra-doux ou aux aciers durs corroyés.

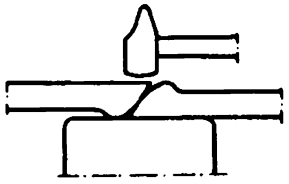


Fig 194 - *Soudure à la forge.*

Les extrémités à souder sont d'abord préparées, c'est-à-dire refoulées et formées en sifflet, ou amorce, qui favorise la soudure et laisse une réserve de métal (fig. 194).

Chauffées au blanc soudant, elles sont ensuite posées l'une sur l'autre et martelées énergiquement et rapidement.

Résumé

Le *forgeage* est basé sur l'augmentation de la malléabilité des métaux lorsqu'ils sont chauffés au rouge.

a) *Chauffage au feu de forge.* — C'est le mode de chauffage utilisé pour le forgeage à main.

Les pièces à chauffer sont placées dans la *zone de combustion* du foyer. Cette zone est alimentée par le coke provenant de la *zone de transformation*. Le mâchefer se forme dans la *zone oxydante*.

b) *Effets techniques obtenus par forgeage à main.* — Ce sont principalement :

— l'*étirage*, qui consiste à allonger le métal par diminution de sa section;
— le *refoulage*, ou augmentation de la section par diminution de la longueur;
— l'*étampage*, qui consiste à étirer le métal sous forme de section circulaire;
— le *cambrage*, qui est un pliage sans angle vif extérieur;
— le *coudage* à angle vif extérieur;
— le *tranchage*, ou sectionnement transversal d'une barre à la tranche;
— le *perçage* et le *mandrinage*, qui consistent à percer un trou puis à le régulariser;
— le *fendage*, qui est un tranchage dans le sens longitudinal. Il doit être précédé d'un perçage;
— le *bigornage*, ou étirage après fendage, en vue de l'obtention d'anneaux sans soudure;
— le *maillage*, ou *torsadage*, qui permet d'obtenir des pièces dont les faces sont en hélice;
— la *soudure à la forge*, moyen de liaison permanente, qui ne s'applique qu'aux aciers doux, extra-doux ou aciers durs corroyés.

TRAVAIL DES MÉTAUX EN FEUILLES

Certains métaux : l'acier doux, le cuivre, l'aluminium, par exemple, dont la malléabilité est suffisante, se présentent dans le commerce sous forme de feuilles pouvant subir une déformation permanente très prononcée avant rupture.

La **chaudronnerie**, ou **travail des métaux en feuilles**, a pour but leur déformation à froid, parfois à chaud, sous l'action de chocs ou de pressions. Le travail peut être effectué à la main ou mécaniquement.

I. — PRINCIPE ET EFFETS TECHNIQUES DES DIFFÉRENTES OPÉRATIONS DE CHAUDRONNERIE A MAIN

A. Découpage

La feuille de métal, tracée suivant un contour qui dépend de la pièce à obtenir, est découpée à la cisaille :

— cisaille à main pour les tôles minces (jusqu'à 1 *mm*);

— cisaille à levier pour les tôles d'épaisseur moyenne (jusqu'à 3 *mm*);

— cisaille guillotine mécanique pour toutes les épaisseurs de tôle.

La forme ainsi découpée prend le nom de **flan.**

Le **cisaillement** est obtenu en plaçant la feuille de métal entre deux lames (fig. 195) en acier dur trempé qui glissent l'une contre l'autre. Une lame est fixe, l'autre est mobile. Leur pente d'affûtage est de 10° environ.

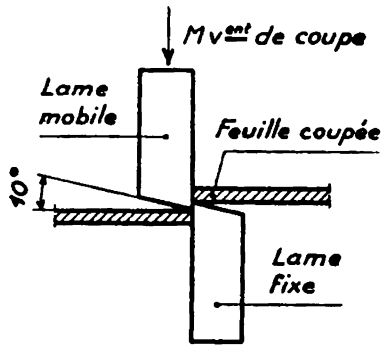


Fig 195 _ *Lames montées sans jeu . La coupe est franche.*

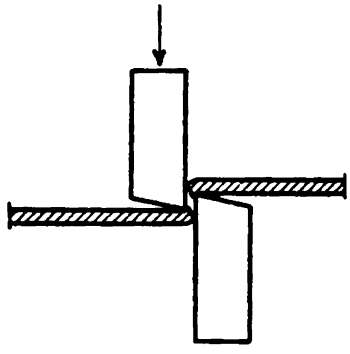


Fig 196 _ *Lames montées avec jeu . La coupe présente des bavures.*

Lorsque les deux lames ne glissent pas correctement l'une contre l'autre, la feuille est d'abord pliée, puis le sectionnement se fait par arrachement (fig. 196). Le flan présente des bavures.

B. Poinçonnage

L'obtention d'un trou cylindrique par cisaillement du métal entre poinçon et matrice (fig. 197) s'appelle poinçonnage.

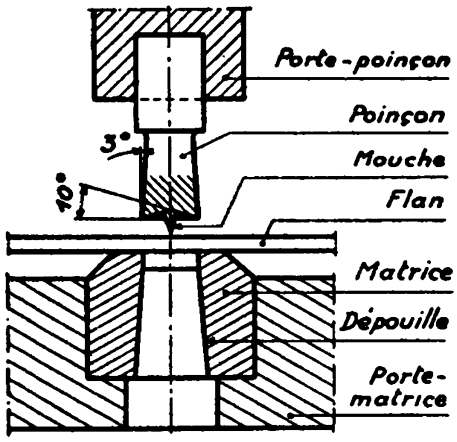


Fig 197_ *Outil à poinçonner.*

Le poinçon présente un angle de dépouille de 3° et une pente d'affûtage de 10° environ. La *mouche*, située à la partie inférieure du poinçon et suivant son axe, permet le positionnement de la tôle d'après le coup de pointeau marqué sur le flan.

La matrice, cylindrique sur 2 à 3 *mm*, présente à la suite une dépouille de 2 à 3° qui facilite l'évacuation des *débouchures*.

Lorsque le jeu entre poinçon et matrice est trop important le poinçonnage laisse des bavures.

La commande du poinçon peut se faire à la main ou mécaniquement.

C. Allongement par coups portants

Sur un *tas* plat ou sur une enclume, posons une bande de métal et martelons un bord (fig. 198). Nous constatons un cintrage de la bande. C'est l'allongement de la partie martelée qui provoque cette déformation.

Cette constatation trouve son application dans le planage des tôles.

Ainsi, pour faire disparaître une bosse, ou cloque, il ne faut pas frapper sur la bosse, qui s'accentuerait, mais au contraire allonger le métal qui se trouve autour de la bosse en frappant à **coups portants**, le flan posé à plat sur un tas ou sur un marbre (fig. 199).

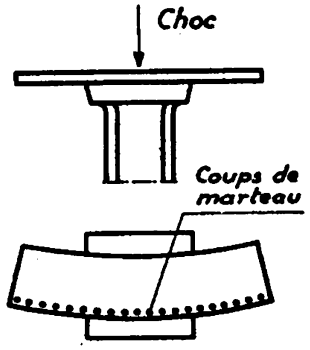


Fig 198_ *Allongement par coups portants.*

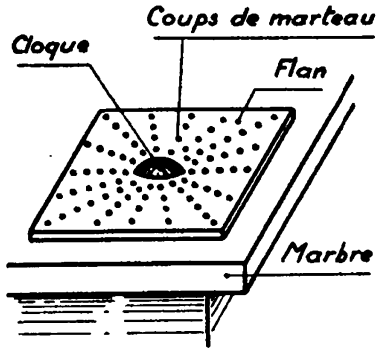


Fig 199_ *Planage d'un flan.*

D. Allongement par emboutissage

Posons un flan circulaire sur une forme creuse (fig. 200) de telle manière qu'il repose par son pourtour seulement et frappons sur la partie en regard du creux. Nous déterminons un creux dans le flan par **emboutissage.**

Le diamètre extérieur n'a pas changé mais l'épaisseur de la tôle dans le creux est plus faible. Cette diminution d'épaisseur est produite par l'allongement du métal.

Ce principe est appliqué pour l'obtention des pièces au creux plus prononcé qu'on régularise ensuite par frappe à à coups portants sur un tas de forme.

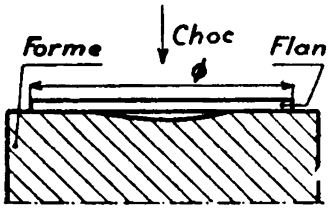


Fig 200_ *Allongement par emboutissage.*

E. Pliage et cintrage

Le **pliage** peut être réalisé à l'étau ou sur le bord d'un tas.

Dans le 1er cas (fig. 201) la pièce est serrée en étau entre deux mordaches ou deux fers cornière. L'ouvrier frappe sur la partie libre.

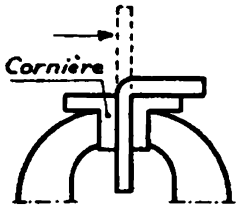


Fig 201_ *Pliage à l'étau.*

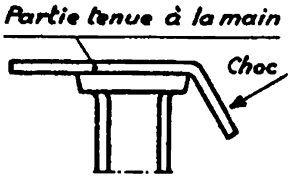


Fig 202_ *Pliage sur tas.*

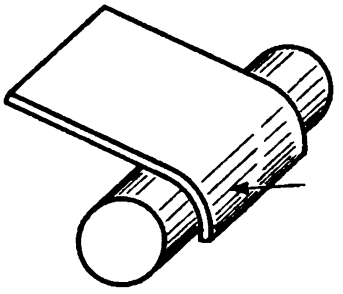


Fig 203_ *Cintrage sur barre.*

Dans le 2e cas, la pièce est posée sur le bord d'un tas (fig. 202) et la frappe a lieu sur la partie libre.

Il y a diminution de l'épaisseur à l'endroit plié lorsque le pliage est à angle très vif.

Le **cintrage** est réalisé comme l'indique la fig. 203. C'est un pliage à grande courbure.

On commence toujours par les extrémités.

F. Epaississement ou rétreinte

Si nous frappons sur une bande de tôle pliée dont les extrémités sont libres (fig. 204) la bande reprend sensiblement une forme plane en conservant son épaisseur.

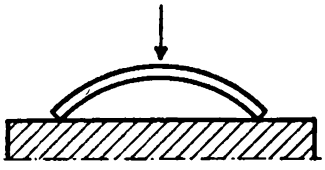


Fig 204_ *Sous la frappe la bande se redresse sans variation d'épaisseur.*

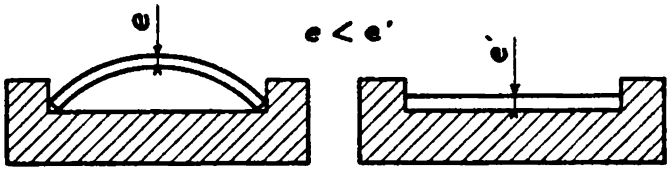


Fig 205_ *La bande a diminué de longueur et son épaisseur a augmenté.*

Si, au contraire, les extrémités sont butées (fig. 205) on constate, après martelage, une augmentation de l'épaisseur de la bande et une diminution de sa longueur.

Cette opération, qui a pour effet de diminuer la longueur de la pièce s'appelle **rétreinte.**

II. — IMPORTANCE DU RECUIT

Nous avons vu (10e leçon) que le martelage provoque l'écrouissage et qu'un métal écroui est cassant.

Souvent, et surtout lorsque le travail demande un martelage prolongé, il n'est pas possible de former la pièce sans provoquer des déchirures du métal. Le chaudronnier doit donc, au cours du travail, **recuire** la pièce pour redonner au métal la malléabilité nécessaire à la continuation du chaudronnage. (Voir 13e leçon pour le recuit des différents métaux).

Résumé

La *chaudronnerie* consiste à déformer le métal en feuilles, à froid, par chocs ou par pression.

L'opération n'est possible que si le métal possède une malléabilité qui lui assure une déformation permanente prononcée avant rupture.

A. — EFFETS TECHNIQUES DES OPÉRATIONS DE BASE DE CHAUDRONNERIE.

***Découpage.* — C'est l'action de couper dans la feuille de tôle le *flan* nécessaire à la fabrication de la pièce. Le découpage se fait à la cisaille par cisaillement.**

***Poinçonnage.* — C'est l'opération qui permet d'obtenir un trou cylindrique dans une tôle par cisaillement à l'aide d'un poinçon et d'une matrice.**

***Allongement par coups portants.* — Le martelage d'une tôle posée à plat sur un tas provoque un allongement du métal au détriment de son épaisseur.**

Ce principe est appliqué pour le planage des tôles.

***Allongement par emboutissage.* — La formation d'un creux par martelage dans un flan circulaire entraîne une diminution d'épaisseur de la partie déformée. Le métal s'est allongé par *emboutissage* sans que le diamètre extérieur du flan ait varié.**

***Pliage et cintrage.* — Le *pliage* entraîne une diminution d'épaisseur à l'endroit du pli lorsque l'angle de pliage est très vif.**

Le *cintrage*, ou pliage à grande courbure, n'entraîne aucune diminution d'épaisseur.

***Rétreinte.* — La *rétreinte* provoque le raccourcissement d'une longueur. Elle s'accompagne d'une augmentation de l'épaisseur.**

B. — IMPORTANCE DU RECUIT.

Le recuit redonne au métal la malléabilité qu'il a perdue par déformation prononcée à froid.

En chaudronnerie, on pratique donc le recuit en cours de travail pour éviter les déchirures.

LES BOIS

Le bois est la substance dure et fibreuse qui constitue le tronc et les branches des arbres. Seul le tronc, ou grume est utilisé comme bois de travail.

I. — STRUCTURE DES BOIS

A. Coupe transversale

La coupe transversale d'une grume (fig. 206) montre :

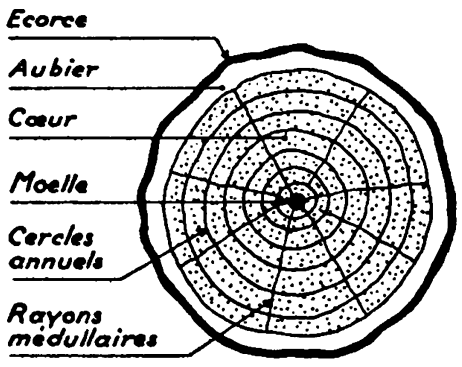


Fig 206. *Coupe transversale d'une grume.*

— la **moelle** : c'est la matière tendre qui se trouve au centre ;
— le **cœur**, ou **bois parfait** : c'est la partie dure, la seule employée ;
— l'**aubier** : il est plus léger et plus mou que le cœur. Il est à rejeter car il contient des matières fermentescibles ;
— l'**écorce** : elle assure la protection de l'arbre ;
— les **rayons médullaires** : ils vont du centre à l'extérieur et constituent les *mailles* dans les bois sciés de long ;
— les **cercles**, ou **cernes** ; ils sont le résultat des transformations annuelles des cellules et leur nombre indique approximativement l'âge des arbres.

B. Coupe longitudinale

L'examen d'une coupe longitudinale (fig. 207) montre que le bois n'est pas une matière homogène.

La naissance des branches forme des nœuds. L'élagage donne lieu à des nœuds enrobés. Les nœuds sont très durs et le bois qui les environne est plus lourd, d'un grain plus serré et les fibres sont plus contournées. Les veines marquent l'existence d'une multitude de vaisseaux dans lesquels monte la sève.

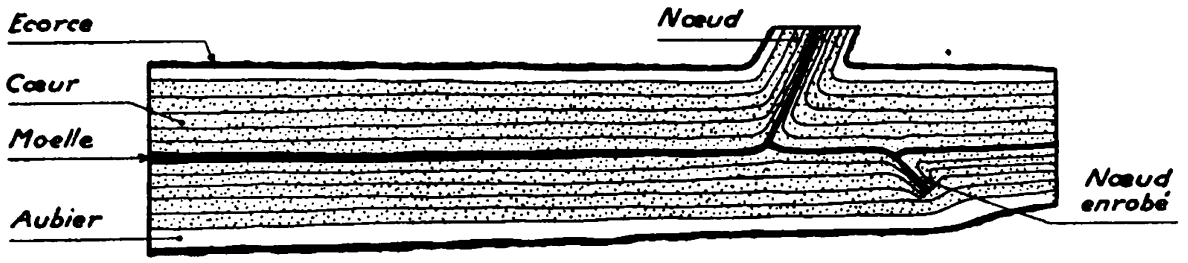


Fig 207. *Coupe longitudinale d'une grume.*

C. Défauts des bois

Les défauts les plus communs aux grumes sont :

— les **roulures** (fig. 208) : elles sont produites par les grands vents qui décollent les couches ligneuses;

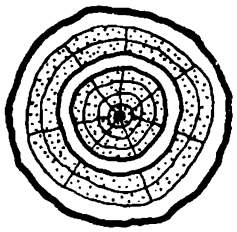


Fig 208 - *Roulure.*

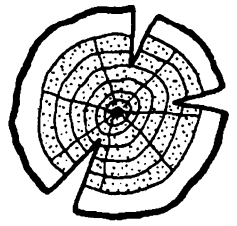


Fig 209 - *Gélivures.*

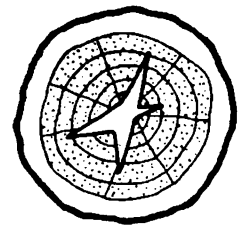


Fig 210 - *Cadranure.*

— les **gélivures** (fig. 209) : ce sont des fentes partant de l'extérieur; elles sont produites par les fortes gelées;

— les **cadranures** (fig. 210) : ce sont également des fentes mais elles partent du centre; on les remarque sur les vieux arbres.

II. — CLASSEMENT DES BOIS

Bois résineux. — Pin, sapin, épicéa, mélèze, cèdre.

Bois feuillus légers. — Tilleul, peuplier, érable, bouleau, aulne. Ce sont des bois tendres.

Bois feuillus demi-lourds. — Chêne, hêtre, frêne, noyer, pommier, poirier. Ce sont des bois durs.

Bois feuillus lourds. — Buis, charme, houx, cornouiller. Ils sont plus durs que les précédents et à grain très serré.

Bois exotiques. — Acajou, ébène, palissandre, gaïac, teck, pitchpin, okoumé. Ces bois sont surtout utilisés en ébénisterie.

III. — PROPRIÉTÉS DES BOIS

Les bois ont des propriétés caractéristiques qui limitent leur emploi. Il ne faut pas perdre de vue que le bois n'est pas une matière homogène et que deux prélèvements voisins peuvent donner lieu à des résultats d'essai assez différents.

A. Propriétés physiques

Hygrométricité et rétractabilité. — Les bois, très hygrométriques, absorbent facilement l'eau et la laissent s'évaporer plus lentement.

L'absorption d'eau produit une augmentation de volume : le bois **gonfle**. L'évaporation produit une diminution de volume : il y a **retrait** du bois. Ce retrait est peu sensible dans le sens de la longueur.

En passant de l'état vert à l'état sec, le bois subit un retrait par évaporation. Après débit, une planche prise dans la région A (fig. 211) restera à peu près plane comme le montre la figure A'.

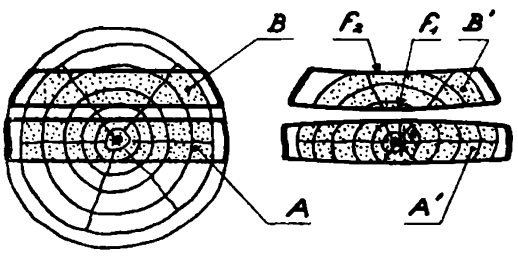


Fig 211 - *Retrait après débit.*

Au contraire une planche prise en B accusera un retrait plus accentué sur la face f_1, qui contient plus d'eau, que sur la face f_2. La planche *tire à cœur*. Il ne faut donc employer en construction que des bois bien secs.

Le **contre-plaqué** est constitué par collage d'un nombre impair de planches minces (feuilles) placées de manière à ce que les fibres soient croisées à 90° environ. Son retrait ne peut donc pas se produire.

B. Propriétés mécaniques

Résistance à la compression. — Des essais ont montré que le bois, par rapport à sa densité, est le plus résistant des matériaux aux efforts de compression axiale.

A densité égale, il serait 5 fois plus résistant que l'acier doux.

Résistance à la flexion. — Elle est très irrégulière et varie d'après la constitution (rectitude des fibres, nœuds, défauts) de l'échantillon (fig. 212, 213 et 214).

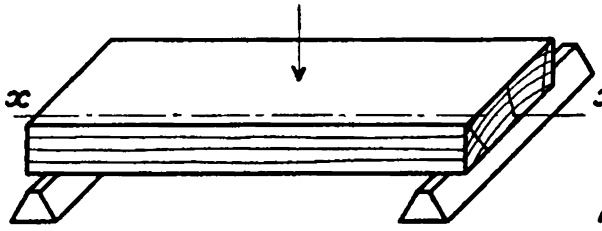


Fig 212 - *Les fibres sont parallèles à l'axe longitudinal. L'échantillon résiste bien à la flexion.*

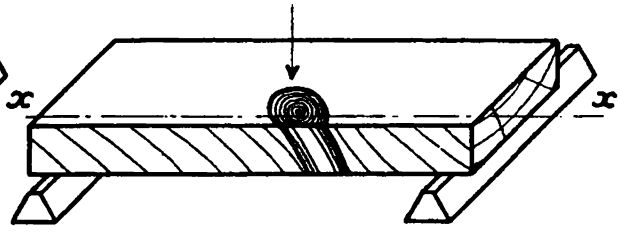


Fig 213 - *L'échantillon présente des fibres obliques à l'axe longitudinal et un nœud diminue sa section. Il résiste mal à la flexion.*

Dureté. — C'est la résistance qu'oppose le bois à la pénétration des outils et des clous et à l'usure.

La dureté augmente les difficultés de travail, surtout à la main.

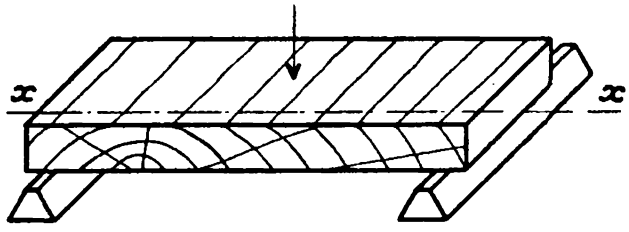


Fig 214 - *Les fibres sont perpendiculaires à l'axe longitudinal. L'échantillon ne résiste pas à la flexion.*

IV. — MALADIES DES BOIS.

La résistance des bois est fortement diminuée lorsqu'ils sont atteints de maladie. On rencontre surtout :

— **la vermoulure** : elle est caractérisée par une multitude de petits trous provoqués par des larves;

— **la carrie, la pourriture** : le bois est réduit en poussière jaune par les attaques d'un champignon microscopique.

La protection contre les maladies peut être assurée à l'aide d'encaustique, de vernis, de peinture ou par imprégnation de goudron, carbonyle, créosote ou de phénol.

Les arbres abattus en hiver sont moins sujets à la pourriture parce qu'ils contiennent moins de matières fermentescibles du fait de l'arrêt de la sève.

Résumé

Les bois de travail sont débités dans des *grumes*. Le cœur, ou bois parfait, est seul employé.

Les bois n'ont pas une structure homogène du fait de leur constitution. Certaines maladies augmentent encore leur hétérogénéité.

On classe les bois en résineux, feuillus demi-lourds et lourds, exotiques.

Les bois sont hygrométriques : ils gonflent ou se rétractent. Ils résistent très bien à la compression axiale et très irrégulièrement à la flexion.

Leur dureté sert à les classer en bois tendres, durs et très durs.

Les arbres sont abattus en hiver au moment de l'arrêt de la sève.

Après débit les planches gauchissent par suite du retrait inégal de leurs faces. Il ne faut donc utiliser en construction que des bois bien secs.

On assure la protection des bois par des vernis, des peintures ou une imprégnation de carbonyle ou de créosote.

TRAVAIL DU BOIS A L'OUTIL DE COUPE

Le travail du bois à l'outil de coupe relève du même principe que l'usinage des métaux. Cependant, il faut tenir compte du manque d'homogénéité du bois (il est hétérogène), qui s'oppose à l'homogénéité des métaux.

Seules les fibres présentent une grande résistance à la pénétration de l'outil de coupe. Entre elles, le bois est mou (fig. 215).

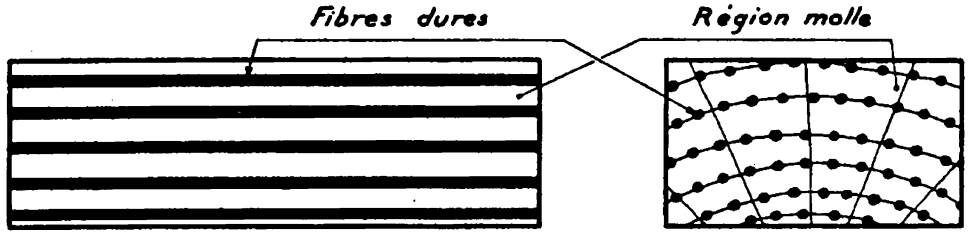


Fig 215 - *Le bois n'est pas homogène. Il est composé de parties dures et de parties tendres.*

I. — *EXPÉRIENCES RELATIVES A LA COUPE DU BOIS*

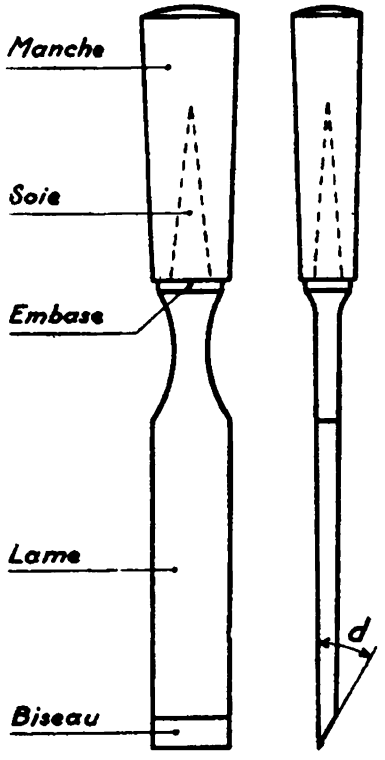


Fig 216 - *Ciseau.*

A. Fendage

Si le ciseau à bois (fig. 216), poussé à la main, pénètre **entre les fibres** comme l'indique la figure 217, il agit comme un coin et les écarte sans gros effort. La surface obtenue n'est pas franche, le bois est fendu et non coupé.

Fig 217 - *Fendage.*

B. Travail en long

Le ciseau travaillant à **contre fil** (fig. 218) évite les fibres et s'engage dans leur direction. Il ne les coupe qu'après leur décollement et leur relèvement devant l'outil. La surface présente des éclats, l'effort de coupe est important.

Fig 218 - *Travail à "contre - fil".*

Le ciseau travaillant **de fil** (fig. 219) évite encore les fibres et a tendance à remon-

Fig 219 - *Travail "de fil".*

ter mais, appliqué sur la surface, il les coupe en les couchant. La surface obtenue est lisse, l'effort de coupe est normal.

C. Travail en travers *(fig. 220)*

Le ciseau avance par sacades, il bute sur chaque fibre qu'il rencontre et glisse soit vers le haut, soit vers le bas, pour l'éviter. La surface obtenue est rugueuse et ondulée, l'effort de coupe est très irrégulier.

D. Travail en bout *(fig. 221)*

Le ciseau se heurte transversalement à un réseau de fibres serrées. Elles ont tendance à fléchir devant lui avant d'être coupées.

La surface obtenue n'est pas lisse, elle est hérissée de fibres relevées après la coupe. L'effort de coupe est très important et il faut même agir par chocs. C'est la raison pour laquelle le ciseau est retourné.

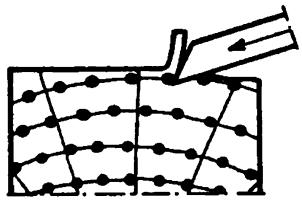


Fig 220_ *Travail en travers.*

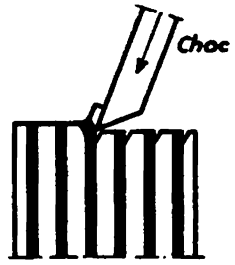


Fig 221_ *Travail en bout.*

E. Conclusion

En pratique l'outil ne travaille dans de bonnes conditions que si les fibres se présentent de fil comme l'indique la figure 219. Dans tous les autres cas, pour une même épaisseur de copeau, l'ouvrier **fait varier instinctivement l'angle de dépouille par rapport à la direction des fibres** pour se rapprocher de ces conditions.

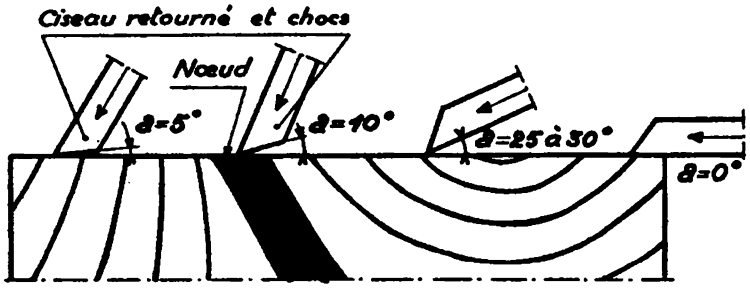


Fig 222_ *Valeurs de l'angle de dépouille suivant les conditions de travail du ciseau.*

La pièce de bois (fig. 222), qui présente un nœud, illustre cette remarque.

Si l'outil est guidé par un fût appliqué sur la surface de la pièce (travail au rabot), **si la pièce glisse sur la table d'une machine, si la vitesse de coupe est très grande, le travail est nettement amélioré.** L'outil ne peut en effet ni s'engager ni se dégager et les fibres, recevant son choc violent, sont coupées avant de fléchir.

II. — OUTILS A MAIN

A. Outils à manche

Le ciseau (fig. 216) est le type de ce genre d'outils.

La lame, ou *fer*, est affûtée en biseau sur une seule face. L'angle de tranchant d varie de 18 à 25° selon la dureté du bois. La lame porte une *soie* qui reçoit un manche en bois. L'outil pénètre dans la matière sous la poussée de la main ou les chocs donnés au maillet.

Lorsque l'outil travaille en *plein bois* il n'y a pas d'angle de dépouille (fig. 223).

Au contraire, si l'outil travaille *en surface* (fig. 224) il faut l'incliner pour former un angle de dépouille **a**. Sa valeur varie avec l'épaisseur du copeau que l'on veut enlever et avec la direction des fibres. Les surfaces obtenues ne sont donc jamais planes.

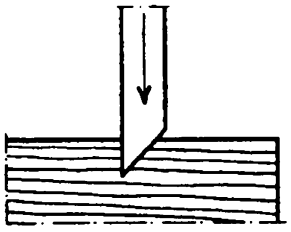


Fig 223 _ *Travail "en plein bois"*

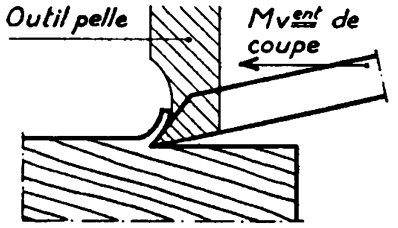


Fig 224 _ *Travail en surface. Remarquer l'identité avec le travail de l'outil pelle.*

B. Outils à fût

L'outil type de cette catégorie est le rabot ordinaire (fig. 225).

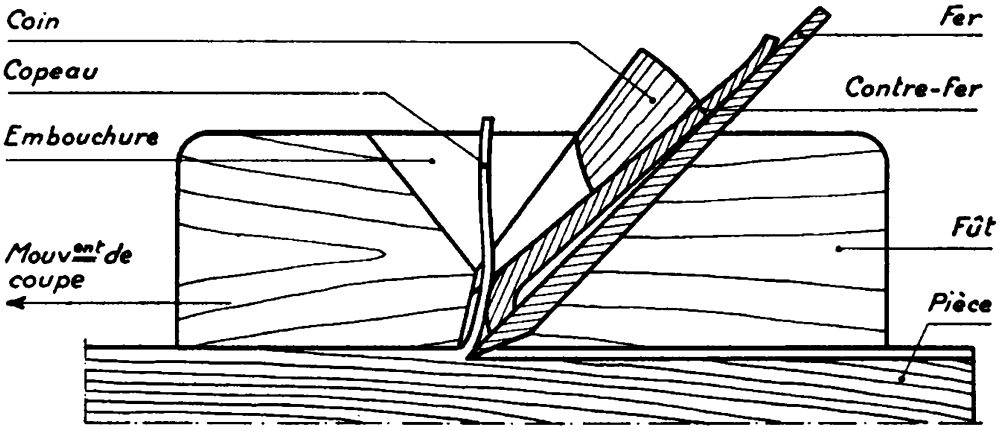


Fig 225 _ *Coupe longitudinale d'un rabot ordinaire.*

La lame, appelée aussi *fer*, est montée dans un fût à l'aide d'un coin. Le contre-fer intercalé entre le coin et le fer a pour but de relever le copeau afin de limiter la grandeur des éclats lorsque le rabot travaille à contre fil (voir fig. 218).

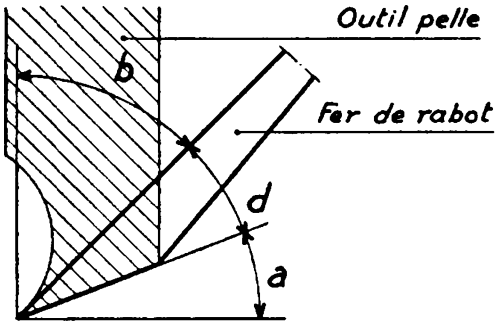


Fig 226 _ *Angles caractéristiques d'affûtage d'un "fer" de rabot. Remarquer l'identité avec un outil pelle.*

L'épaisseur du copeau dépend de la sortie du tranchant par rapport au fût.

Valeur moyenne des angles caractéristiques (fig. 226). — Angle de dépouille **a** = 25°. Pente d'affûtage **b** = 45°. Angle de tranchant **d** = 20°.

Pour la coupe en bout, **b** peut aller jusqu'à 55°.

La valeur de cet angle est conditionnée par l'inclinaison du fer dans le fût.

Le fût du rabot constituant un guide et la vitesse de coupe étant assez élevée, les surfaces obtenues sont planes.

III. — OUTILS A MACHINE

A. Lame de scie à ruban

La lame est un ruban d'acier dur armé de dents (fig. 227). Les extrémités étant réunies par soudure, ce ruban est sans fin.

La valeur moyenne des angles caractéristiques est : **a** = 15°, **b** = 20°, **d** = 55°.

Le mouvement de coupe est rectiligne continu. La vitesse de coupe est très grande, de l'ordre de 1500 *m/mn*.

La lame étant flexible, la surface obtenue est toujours rugueuse.

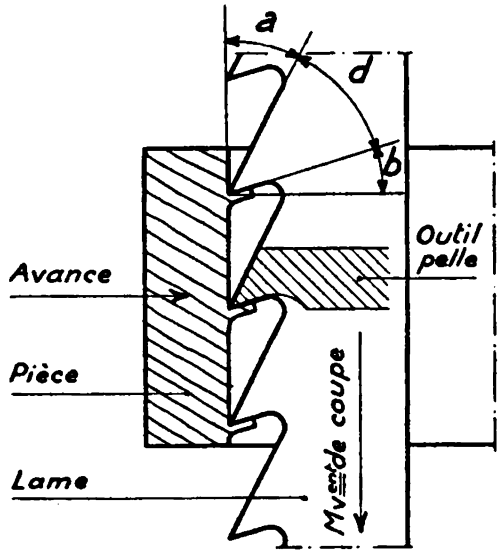


Fig 227. *Lame de scie et ses angles caractéristiques d'affûtage.*

B. Outil de dégauchisseuse et de raboteuse

L'outil est une lame droite (fig. 228). Deux lames diamétralement opposées sont fixées sur un porte-lames (fig. 229).

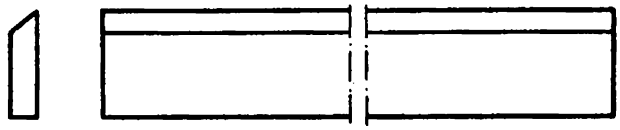


Fig 228. *Lame, ou fer.*

Le porte-lames est animé d'un mouvement circulaire continu : c'est le mouvement de coupe.

Chaque lame (fig. 230) peut être considérée, de même que pour la fraise, comme un outil pelle.

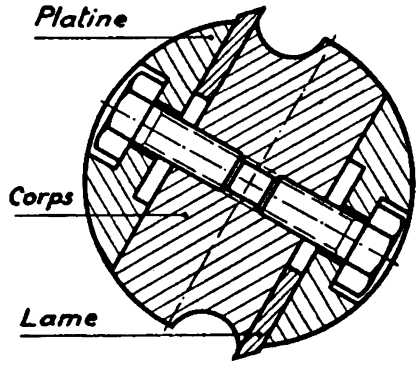


Fig 229. *Porte-lames et lames montées.*

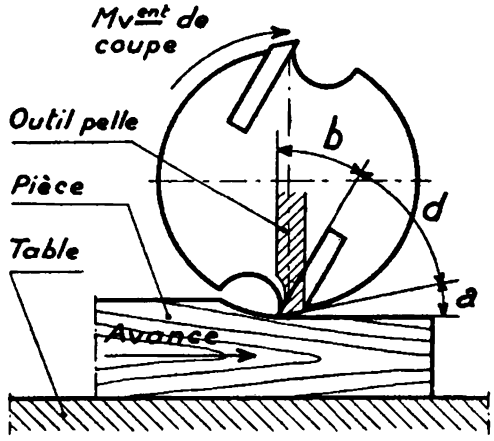


Fig 230. *Principe de la coupe d'un outil de raboteuse et angles caractéristiques d'affûtage.*

L'angle **b** a une valeur moyenne de 35°. L'angle de dépouille a une valeur constante de 15°.

La pièce étant guidée et la vitesse de coupe très grande, de l'ordre de 1200 *m/mn*, la surface obtenue est plane et lisse.

Résumé

Le façonnage du bois se fait à la main ou à la machine, par enlèvement de la matière sous forme de copeaux, à l'aide d'outils tranchants.

Les outils à bois coupent suivant les mêmes principes que les outils à métaux, cependant :

- **les bois étant plus tendres que les métaux, l'angle de tranchant est plus petit, tandis que les angles de dépouille et de pente d'affûtage sont plus grands ;**
- **la qualité de la surface obtenue dépend de la direction des fibres coupées car le bois est une matière hétérogène.**

OUTILS A BOIS

a) *Outils à manche.* — Ces outils coupent sous l'effet des chocs donnés sur le manche qu'ils portent à leur extrémité ou, lorsque le copeau à enlever est mince, sous l'effet d'une poussée.

N'étant pas guidés, la surface obtenue n'est pas plane.

b) *Outils à fût.* — La lame est fixée dans une monture, ou *fût*, qui guide l'outil en travail sous la poussée de l'ouvrier. La surface obtenue est plane.

c) *Outils à machine.* — Ce sont généralement des outils à tranchants multiples.

La scie donne des surfaces rugueuses.

La dégauchisseuse et la raboteuse, à porte-lames rotatif, donnent des surfaces planes et lisses.

MACHINES A BOIS

Nous retrouverons dans ces machines les mêmes principes de fonctionnement que ceux étudiés pour la coupe des métaux.

Il faut cependant remarquer que les différents mouvements de l'outil et de la pièce sont très rapides parce que les fibres du bois ne sont coupées sans fléchir que sous l'action d'un choc de l'outil et aussi parce que l'effort de coupe est relativement faible.

En raison de leur grande vitesse, les machines à bois sont très dangereuses.

Nous nous limiterons à l'étude de la scie à ruban, de la dégauchisseuse, de la raboteuse et de la mortaiseuse à mèche.

I. — SCIE A RUBAN

La machine à scier permet le débit des pièces brutes, c'est-à-dire des ébauches.

A. Principe du sciage

La lame, lorsqu'elle est en contact avec la pièce, est animée d'un mouvement rectiligne continu : c'est le mouvement de coupe (Revoir la fig. 227).

La pièce, appuyée sur une table fixe, est déplacée à la main perpendiculairement à la lame : c'est l'avance.

Il n'y a pas de mouvement serrage.

B. Schéma fonctionnel d'une scie à ruban

La lame, ou ruban, s'enroule sur le volant moteur et sur le volant de renvoi à la manière d'une courroie (fig. 231). Elle est guidée de part et d'autre de la table par deux frotteurs.

La pièce glisse sur la table contre un guide en forme d'équerre, réglable latéralement.

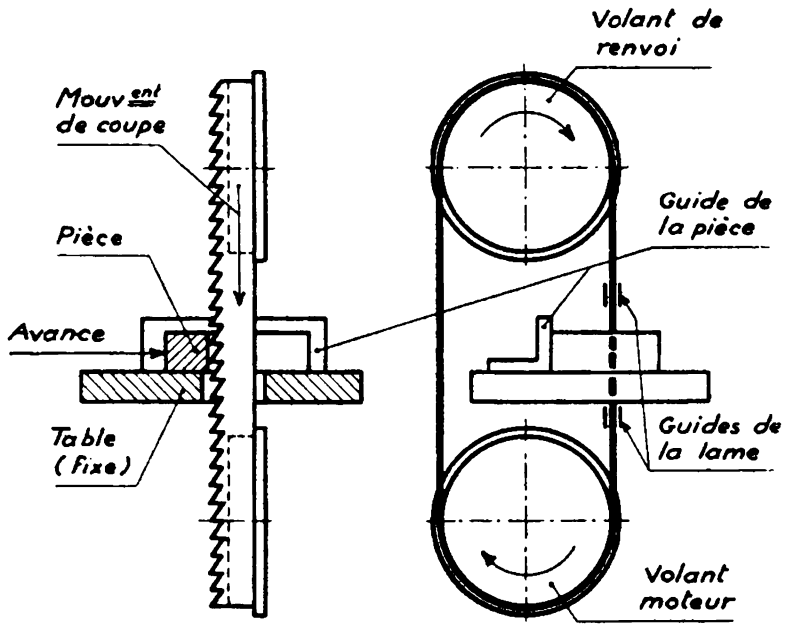


Fig 231. *Schéma d'une scie à ruban.*

II. — DÉGAUCHISSEUSE

La dégauchisseuse permet le corroyage (surfaçage) et la mise à l'équerre de deux faces adjacentes.

A. Principe du travail à la dégauchisseuse

Les lames (revoir la fig. 229) sont animées d'un mouvement circulaire continu : c'est le mouvement de coupe.

La pièce est déplacée horizontalement au-dessus des lames : c'est l'avance (fig. 232).

La pièce descend verticalement pour le réglage du *serrage* avant la prise de passe.

B. Schéma fonctionnel d'une dégauchisseuse (*fig.* 232)

Le porte-lames est commandé par poulie et courroie.

Le mouvement d'avance est réalisé par poussée de l'ouvrier sur la pièce de bois qui glisse latéralement contre un guide en forme d'équerre.

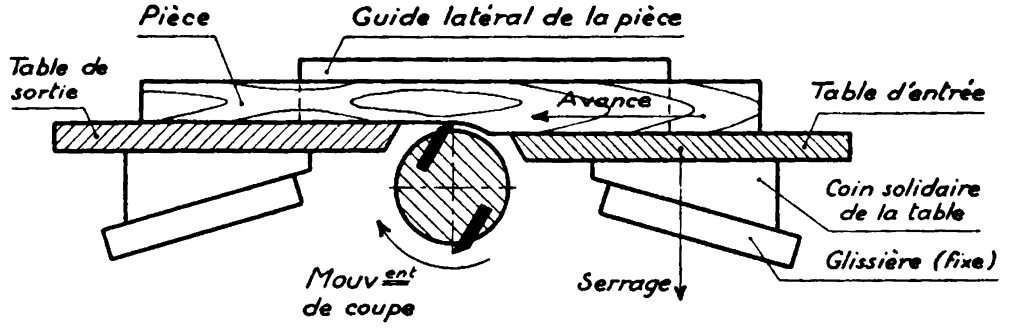


Fig 232_ *Schéma d'une dégauchisseuse.*

Le mouvement de serrage est obtenu par glissement de la *table d'entrée* sur une glissière fixe inclinée, à l'aide d'un système vis et écrou.

Un réglage du même type permet d'aligner la *table de sortie* tangentiellement aux lames.

III. — RABOTEUSE

La raboteuse permet d'obtenir le parallélisme des faces et la mise à épaisseur d'une pièce de bois.

L'outil de raboteuse est identique à celui de la dégauchisseuse.

A. Principe du travail à la raboteuse

Le mouvement de coupe est réalisé par rotation du porte-lames autour de son axe.

La pièce est déplacée horizontalement sous les lames : c'est l'avance (fig. 233). Pendant l'avance, la pièce glisse sur la table fixe par sa face préalablement dressée à la dégauchisseuse ; ainsi les faces sont parallèles.

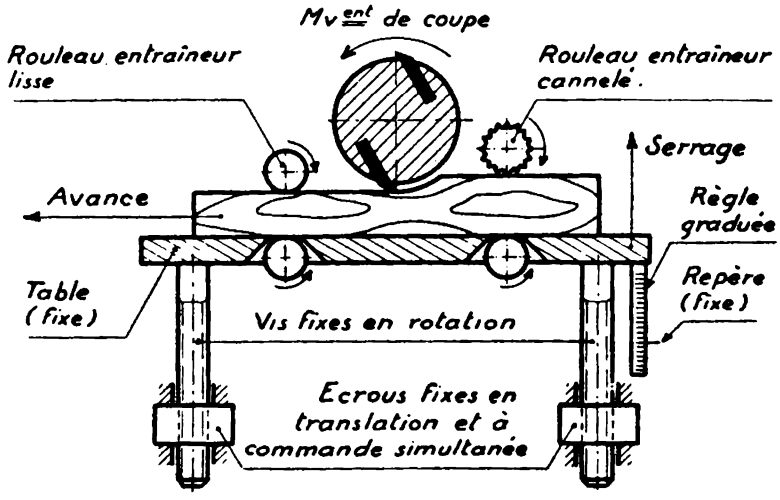


Fig 233_ *Schéma d'une raboteuse.*

La pièce se déplace en hauteur pour le réglage du *serrage* avant la prise de passe.

B. Schéma fonctionnel d'une raboteuse

Le porte-lames est commandé par poulie et courroie.

La pièce est appuyée sur une table fixe et des rouleaux lui communiquent l'avance (fig. 233).

La table de la machine est réglable en hauteur à l'aide d'un double système vis et écrou à commande simultanée. Elle se déplace donc parallèlement à elle même et le *serrage* se lit sur une règle graduée.

IV. — MORTAISEUSE A MÈCHE

La mortaiseuse permet l'exécution d'ouvertures rectangulaires appelées **mortaises.**

A. Outils

La machine utilise deux outils :

Un premier outil (fig. 234) est une mèche à cannelures droites dite **double-cuiller.** Cette mèche assure un meilleur dégagement des copeaux que la mèche hélicoïdale qui est cependant parfois employée.

Le deuxième outil est le bédane équarrisseur à double tranchant (fig. 235).

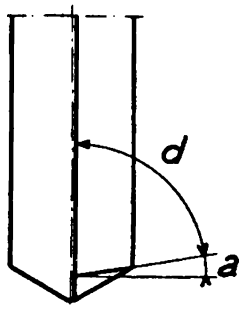


Fig 234_ *Mèche double-cuillère.*

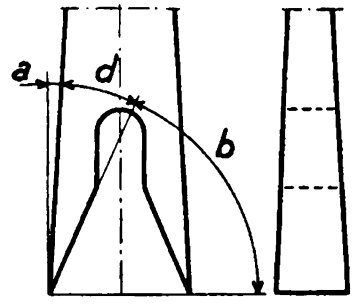


Fig 235_ *Bédane équarisseur.*

B. Principe du mortaisage

L'ébauche de la mortaise est faite par perçage de trous tangents (en chaînette) (fig. 236).

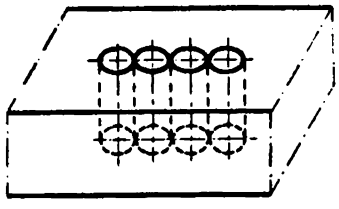


Fig 236.

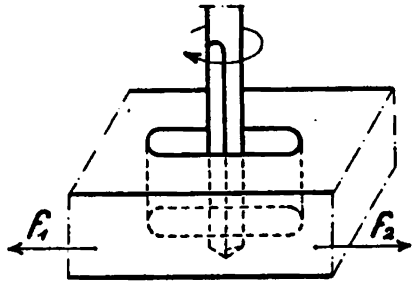


Fig 237

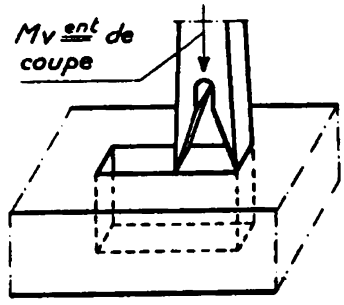


Fig 238.

Après perçage, la mèche, animée seulement du mouvement de rotation, est maintenue en position et la pièce est déplacée suivant les flèches f_1 et f_2 afin d'obtenir deux flancs parallèles (fig. 237). La mortaise ainsi réalisée est à champs ronds.

Pour obtenir une forme rectangulaire on finit la mortaise au bédane équarrisseur (fig. 238). Le mouvement de coupe du bédane est rectiligne. La pièce est fixe pendant le travail du bédane.

C. Schéma fonctionnel de la mortaiseuse *(fig. 239)*

Le mouvement de coupe de la mèche est obtenu directement par moteur monté en bout de la broche porte-mèche.

L'avance de la mèche est assurée par translation de la poupée mobile à l'aide d'un système pignon et crémaillère. Le pignon est réduit à un secteur denté commandé à la main par un levier.

La pièce est fixée sur un chariot horizontal commandé aussi par un secteur denté. Ce chariot permet le perçage en chaînette et la réalisation des deux flancs parallèles de la mortaise.

Un autre chariot, parallèle à la poupée mobile et commandé également par secteur denté et crémaillère, assure le mouvement de coupe du bédane équarrisseur.

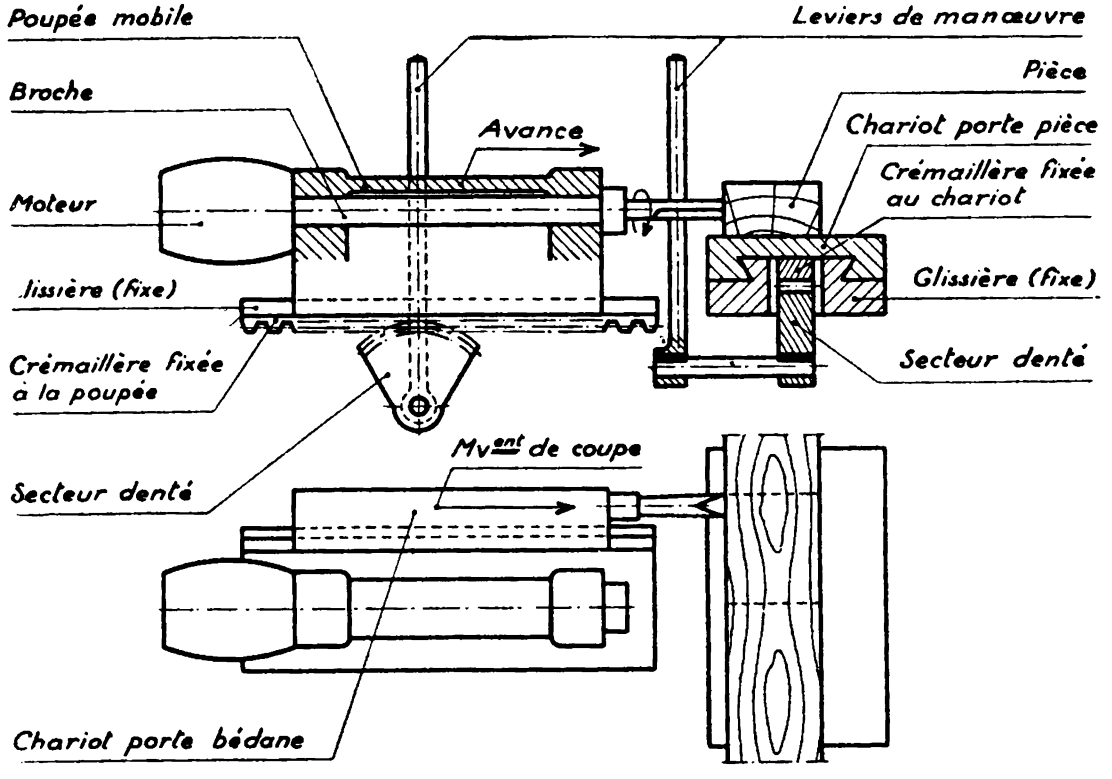


Fig 239 - *Schéma d'une mortaiseuse à mèche.*

Résumé

Les machines à bois fonctionnent suivant les mêmes principes que les machines à métaux.

Les mouvements de la pièce et de l'outil sont très rapides parce que les bois sont moins durs que les métaux et ne se travaillent bien qu'à grande vitesse.

a) *Scie à ruban.* — La scie à ruban permet le débit des pièces brutes.

L'outil est un ruban d'acier sans fin armé de dents, qui passe sur deux volants dont l'un est moteur. Le mouvement de coupe est rectiligne continu.

L'avance de la pièce est donnée à la main.

La surface obtenue est rugueuse.

b) *Dégauchisseuse.* — La dégauchisseuse est employée pour le corroyage et la mise à l'équerre de deux faces adjacentes.

L'outil est composé de deux lames fixées à un porte-lames.

Le mouvement de coupe est donné à l'arbre porte-lames par poulie et courroie.

L'avance est obtenue par poussée de l'ouvrier sur la pièce de bois.

Le serrage est donné par le réglage en hauteur de la table, à l'aide d'un système vis et écrou.

c) *Raboteuse.* — Le parallélisme de deux faces et la mise à épaisseur d'une pièce de bois sont réalisés sur la raboteuse.

Cette machine travaille suivant les mêmes principes que la dégauchisseuse mais l'avance est obtenue mécaniquement par des rouleaux entraîneurs.

d) *Mortaiseuse à mèche.* — Cette machine permet l'exécution de mortaises. Elle utilise deux outils :

1° Une mèche permettant l'ébauche de la mortaise qui se fait en deux temps :

— perçage de trous tangents ;

— obtention de flancs parallèles par déplacement transversal de la pièce de bois devant la mèche en rotation.

2° Un bédane équarrisseur qui donne sa forme rectangulaire à la mortaise